

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



TESIS DOCTORAL

**Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución
de problemas en el aprendizaje de la química en alumnos de
bachillerato**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ana Isabel Bárcena Martín

Directora

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE EDUCACIÓN
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE UNA
METODOLOGÍA INVESTIGATIVA DE
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL
APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA EN
ALUMNOS DE BACHILLERATO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

ANA ISABEL BÁRCENA MARTÍN

Bajo la dirección de la doctora

MARÍA MERCEDES MARTÍNEZ AZNAR

Madrid, 2015



Universidad Complutense de Madrid

Facultad de Educación

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE UNA
METODOLOGÍA INVESTIGATIVA DE
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL
APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA EN
ALUMNOS DE BACHILLERATO**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

ANA ISABEL BÁRCENA MARTÍN

Bajo la dirección de la doctora:

MARÍA MERCEDES MARTÍNEZ AZNAR

Profesora Titular del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de
la Universidad Complutense de Madrid

MADRID 2015

*“Si no estás dispuesto a equivocarte
nunca llegarás a nada original”*

KEN ROBINSON

Experto en desarrollo de la creatividad

*“El mejor modo de aprender es
hacer, preguntar y hacer.
El mejor modo de enseñar es
hacer que los alumnos pregunten y hagan.
No prediques los hechos, estimula los actos.”*

PAUL HALMOS

Matemático

A Antonio

por tu apoyo y comprensión
en estos largos años de trabajo.

A Álvaro y Alejandro

por las horas robadas de estar en vuestra
compañía sobre todo en las vacaciones.

AGRADECIMIENTOS:

Han sido tantos años y tantas personas que me han ayudado en este trabajo que tendría que escribir otra tesis doctoral sobre la bondad y la calidad humana para ser justa con todos.

En primer lugar a Mercedes por su infinita paciencia y por su comprensión en todo momento de los problemas de tiempo que me ocasionaba mi vida familiar. Me siento muy agradecida de poder haber contado con su gran sabiduría, pero sobre todo con su saber hacer, que ha hecho que descubra y disfrute del mundo maravilloso de la Didáctica.

A dos profesoras excepcionales Paloma Varela y Teresa Ibáñez por ayudarme siempre que lo he necesitado en el presente trabajo y en otros momentos personales y profesionales.

A Jesús Lahera, aunque desgraciadamente no se encuentre ya entre nosotros, por confiar en mí y ponerme en contacto con Mercedes.

Igualmente quiero agradecer al Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales la posibilidad de realizar esta Tesis.

A todos los compañeros de instituto, que en muchos casos sin conocerme estuvieron dispuestos a ayudarme incluso a cederme sus clases de Bachillerato, y en especial a Alicia, cuyo aprecio y cariño se ha consolidado después de tantos años.

A los alumnos que han hecho posible esta investigación, y en general a todos los que a lo largo de mi experiencia docente han hecho y hacen que me entusiasme cada día y disfrute de mi profesión.

A mi familia por su apoyo incondicional, a mi madre por sus consejos y en especial a mi padre, por ser excepcional referente profesional.

La presente investigación surge de una inquietud personal por mejorar mi propia práctica docente y de la oportunidad que me encuentro al conocer el trabajo que en didáctica lleva desarrollando en los últimos veinte años equipo de investigación dirigido por la Dra. María Mercedes Martínez Aznar.

A lo largo de estos años en los que, por supuesto ha sido durísimo compaginar una vida laboral y sobre todo una vida familiar con la investigación, me encontraba mucha gente que viendo mis intentos de sacar 28 horas al día me decía mirándome como un bicho raro: “Y tú... si ya eres funcionaria... ¿para qué quieres la tesis?” ¡Como si ya no tuviese nada que aprender!

Pues doy fe que no es así. He descubierto de la mano de Mercedes un mundo tan prolífico en posibilidades didácticas que realmente me deslumbra.

Los avatares de una vida complicada e intensa desde el punto de vista personal y profesional (de la que no reniego ni un segundo) ha querido que esta investigación se alargase en el tiempo más de lo deseado. No por ello ha disminuido mi entusiasmo por dicho trabajo, en el que cada vez veo más posibilidades de investigaciones futuras.

La presente memoria es una muestra de lo mucho que he aprendido estos años, y espero que pueda servir para aportar un granito de arena en la ayuda a otros profesores en su práctica docente.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. El presente de la educación científica	3
1.2. Las reformas educativas y la necesidad de un cambio metodológico	9
1.3. La indagación en las clases de ciencias	13
1.4. La resolución de problemas como método indagativo	23
1.5. Metodología de resolución de problemas por investigación: MRPI	33
1.5.1. Descripción de las fases	41
1.5.2. Relación de la MRPI con procesos de metacognición	47
1.5.3. El cambio conceptual y las concepciones alternativas	48
1.5.4. Trabajo en grupos cooperativos	50
1.5.5. Contextualización de los problemas	53

CAPITULO 2: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Finalidad de la investigación	61
2.2. Aspectos generales de la investigación	63
2.3. Muestras de la investigación	64
2.4. Hipótesis de investigación	67
2.4.1. Hipótesis previa de trabajo H0	67
2.4.2. Hipótesis de intervención en el aula	68
2.5. Secuenciación de la investigación	73
2.5.1. Fase preliminar: Ubicación, selección de materiales y toma de contacto con la metodología de enseñanza-aprendizaje	74
2.5.2. Estudio empírico: Fase experimental I	76
2.5.3. Estudio empírico: Fase experimental II	77
2.5.4. Fase final: Evaluación de la investigación	78
2.6. Metodología de aula	79
2.7 Coordinación con el grupo control	80

2.8. Instrumentos y técnicas de recogida de datos	81
2.8.1. Instrumentos y técnicas de recogida de datos diseñados para contrastar las hipótesis relacionadas con procedimientos de resolución de problemas abiertos y cerrados de química	82
2.8.1.1. Problemas abiertos seleccionados para contrastar la H1	83
2.8.1.2. Problemas cerrados seleccionados para contrastar la H2	87
2.8.2. Instrumentos y técnicas de recogida de datos diseñados para contrastar las hipótesis relacionadas con conceptos	89
2.8.2.1. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 3.1, 3.2 y 3.5 relacionadas con los conceptos sobre reacciones químicas	90
2.8.2.2. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 3.3. y 3.4. relacionadas con los conceptos medioambientales	113
2.8.3. Instrumentos y técnicas de recogida de datos diseñados para contrastar las hipótesis relacionadas con actitudes	117
2.8.3.1. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 4.1 y 4.2 relacionadas con las actitudes hacia el medioambiente	118
2.8.3.2. Instrumentos diseñados para contrastar las hipótesis 5 relacionada con las actitudes frente a la MRPI	122
2.9. Momentos para la recogida de la información del trabajo en el aula y de las pruebas planteadas en la investigación	126
2.10. Técnicas de análisis de resultados	127
CAPITULO 3: DISEÑO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA Y SU DESARROLLO EN EL AULA	131
3.1. Justificación curricular	133

3.1.1. Selección del currículo en el momento de la investigación	134
3.1.2. Currículo y desarrollo de competencias	141
3.1.3. De los conceptos a los conocimientos y de los procedimientos a las capacidades	143
3.2. Diseño y elaboración de la Unidad Didáctica	145
3.2.1. Caracterización de los elementos a tener en cuenta en el diseño de la Unidad Didáctica	145
3.2.2. Contenidos de la Unidad Didáctica	147
3.2.3. Planteamiento de las situaciones problemáticas abiertas	151
3.3. La Unidad Didáctica como material del alumno	155
3.4. Desarrollo de la Unidad Didáctica en el aula	160
3.4.1. Toma de contacto con la MRPI y pautas de resolución de situaciones problemáticas	160
3.4.2. El trabajo individual y en grupo en el aula	163
3.4.3. Secuencia del desarrollo de actuaciones en el GEXP	165
3.5. Coordinación con el profesorado del GCON	174
CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
4.1. Homogeneidad de los grupos experimental y control	181
4.1.1. Estudio de la homogeneidad de los GEXP y GCON en relación a la resolución de problemas abiertos	181
4.1.2. Estudio de la homogeneidad de los GEXP y GCON en relación a los conocimientos sobre reacciones químicas	184
4.1.3. Estudio de la homogeneidad de los GEXP y GCON en relación a los conocimientos sobre medioambiente	205
4.1.4. Estudio de la homogeneidad de los GEXP y GCON en relación a las actitudes hacia el medioambiente	209
4.2. Comprobación de la hipótesis 1 relativa al aprendizaje de la MRPI del GEXP	215
4.2.1. Evolución de las variables metodológicas y de verbalización a lo largo de la secuencia de los	

problemas trabajados en la Unidad Didáctica	216
4.2.2. Análisis de la evolución del aprendizaje de las variables a lo largo de la secuencia de los problemas	219
4.3. Comprobación de la hipótesis 2 relativa a la resolución de problemas cerrados de los GEXP y GCON	224
4.4 Comprobación de la hipótesis 3 relativa al cambio conceptual de los GEXP y GCON	228
4.4.1. Contraste de la subhipótesis 3.1 relativa al cambio conceptual del GEXP en conceptos sobre reacciones Químicas.	228
4.4.2. Contraste de la subhipótesis 3.2 relativa a la comparación del cambio conceptual de los GEXP y GCON en conceptos sobre reacciones químicas	253
4.4.3. Contraste de la subhipótesis 3.3 relativa al cambio conceptual del GEXP sobre medioambiente	273
4.4.4. Contraste de la subhipótesis 3.4 relativa a la comparación del cambio conceptual de los GEXP y GCON sobre medioambiente	276
4.4.5. Contraste de la subhipótesis 3.5 relativa a la persistencia en el tiempo del cambio conceptual del GEXP sobre reacciones químicas	279
4.5. Comprobación de la hipótesis 4 relativa al cambio actitudinal hacia el medioambiente en los GEXP y GCON	285
4.5.1. Contraste de la subhipótesis 4.1. relativa al cambio actitudinal hacia el medioambiente del GEXP	285
4.5.2. Contraste de la subhipótesis 4.2. relativa a la comparación del cambio actitudinal hacia el medioambiente de los GEXP y GCON	300
4.6. Comprobación de la hipótesis 5 relativa a la actitud de los alumnos del GEXP hacia la MRPI	310
CAPITULO 5: CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS	335
5.1. Conclusiones	337
5.2. Aportación global a la didáctica de las ciencias experimentales	343
5.3. Perspectiva de futuro	345

BIBLIOGRAFÍA	347
ANEXOS:	
Anexo I: Concepciones alternativas sobre reacciones químicas	377
Anexo II: Unidad Didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa"	385
Anexo III: Situaciones problemáticas de la unidad didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa"	461
RESUMEN EN INGLÉS (SUMMARY)	545

PRESENTACIÓN DE LA TESIS

En los últimos años oímos cómo se repite de forma insistente que el sistema educativo español tiene graves deficiencias tanto metodológicas como motivadoras hacia los estudiantes. El desencanto de los estudiantes en particular hacia las materias científicas es alarmante, no sólo en España sino en toda Europa. La última prueba PISA 2012, que incluía una parte sobre resolución de problemas que pueden encontrarse en su vida cotidiana, ha arrojado resultados realmente alarmantes.

Son muchas las investigaciones que sugieren cambios metodológicos, en concreto hacia los llamados métodos inductivos o de indagación pues resultan ser efectivos a la hora de producir aprendizajes significativos en el alumno y, además, aportan una especial motivación que no sólo ayuda a ese aprendizaje sino que proporciona actitudes positivas hacia la ciencia.

Existen muchos métodos incluidos bajo el paraguas de los métodos inductivos o indagativos y de entre todos cabe destacar el aprendizaje basado en la resolución de problemas o ABP (Problem Based Learning o PBL en inglés) que surge en la segunda mitad del siglo XX dentro del ámbito de la educación sanitaria y que hoy en día se extiende a todas las asignaturas y ámbitos de la vida cotidiana.

Una de las muchas formas de aplicar en ciencias el ABP es la metodología basada en la resolución de situaciones problemáticas abiertas propuesta por los investigadores valencianos Gil y Martínez-Torregrosa hace varias décadas. El equipo de la Dra. María Mercedes Martínez Aznar, dentro del cual se enmarca esta investigación, lleva veinte años aplicando esta metodología a diversos ámbitos científicos y diversos niveles educativos.

Aún siendo muchos los científicos y pedagogos que afirman la utilidad de estos métodos indagativos, existen algunas voces discordantes que insisten en que los métodos de aprendizaje no guiados o poco guiados como la indagación no son tan efectivos como los guiados, e incluso aseguran que no hay una evidencia clara de que los currículos escolares basados en el ABP sean mejores significativamente a la hora de construir el conocimiento requerido que los que siguen los currículos estándar.

En este punto, uno de los objetivos de la investigación es intentar demostrar que la utilización de una metodología indagativa de resolución de

problemas por investigación, la MRPI, permite que los estudiantes construyan aprendizajes conceptuales y procedimentales significativamente mejores desde el punto de vista estadístico que los alcanzados por alumnos que siguen una metodología de clase más tradicional.

Por otro lado, aún siendo conscientes de que las actitudes de los alumnos son difíciles de evaluar, se propone el reto de intentar observar si, trabajando con los materiales y la metodología adecuada, la MRPI, se pueden producir también cambios estadísticamente significativos en sus actitudes hacia el medioambiente.

El presente trabajo se diseña para aplicar esta metodología a la disciplina de Química, de primer curso de Bachillerato de opción científica (tanto para la modalidad de Ciencias de la Naturaleza como para la del Tecnológico).

En cuanto a los aspectos del trabajo en el aula, los materiales utilizados pretenden ser una fuente motivadora de aprendizaje. Por ello, en su diseño se cuida especialmente la contextualización, atendiendo en lo posible a una realidad social cercana al alumno. Se trata de proporcionar a éstos un material de trabajo diferente a los tradicionales, centrado en situaciones problemáticas contextualizadas. Éstas son seleccionadas y secuenciadas de tal forma que, al trabajar con ellas, se propicie que surjan diferentes conceptos sobre reacciones químicas. Al igual que en las actividades de "scaffolding", esta metodología necesita de una progresión en la dificultad de los conceptos y destrezas a desarrollar.

Así, a partir de una secuencia de problemas abiertos diseñados para propiciar el aprendizaje significativo de conceptos y la adquisición de ciertas capacidades, se ha elaborado una unidad didáctica. Un enfoque CTSA de ésta no solo debe aportarnos la motivación deseada sino que puede contribuir positivamente a la formación de valores, promoviendo en los alumnos una actitud responsable ante los problemas ambientales. En ese sentido se escoge como eje vertebrador de la unidad el uso de las energías renovables y, en concreto, de la Biomasa. Para su desarrollo en el aula, la unidad incluye ciertos materiales de consulta que los alumnos pueden.

Todo ello constituye la Unidad Didáctica "Reacciones químicas y Biomasa", concebida como un material "vivo" pues cambia de una forma

dinámica cada año según las necesidades e inquietudes del alumnado y del entorno social al que se apliquen.

Además de elaborar estos materiales de aula, se diseñan pruebas que permiten constatar el cambio conceptual, procedimental y actitudinal producido en los alumnos de los grupos experimentales que han trabajado con la MRPI y su comparación con los grupos control, que han seguido una metodología tradicional.

El estudio empírico se realiza en dos fases, en centros distintos y por tanto con alumnado diferente para afianzar las posibles conclusiones que deriven de la comprobación de las hipótesis que se plantean en la investigación.

La memoria de este trabajo se estructura en cinco capítulos.

- En el primero se presenta el marco teórico de la investigación comenzando por una revisión de la situación educativa actual. La propuesta de una metodología diferente a la tradicional en las clases de ciencias lleva al análisis de los métodos indagativos. Entre éstos se encuentra la enseñanza-aprendizaje basada en problemas (EABP), donde se enmarca la metodología de resolución de problemas por investigación (MRPI) que va a ser la base del presente trabajo. Además, se analizan aspectos relevantes a la hora de aplicar dicha metodología como son el trabajo cooperativo en el aula o la contextualización de los materiales.
- El capítulo dos corresponde al diseño de la investigación. Se presenta el marco legislativo, se enumeran las hipótesis de la investigación, se introduce la metodología de la investigación, se analizan las muestras de los grupos experimentales y control, se presentan los cuestionarios y materiales que servirán para comprobar las hipótesis propuestas y se comentan los métodos de análisis estadísticos que se van a utilizar para el estudio posterior de los datos recopilados.
- En el capítulo tres se describe el desarrollo de la investigación en el aula. Se explican, entre otras cosas, el diseño de la unidad

didáctica, cómo se trabaja en el aula en grupos cooperativos, la secuencia de actividades o cómo se coordina la profesora investigadora con los profesores de los grupos control.

- El cuarto capítulo recoge los resultados obtenidos en las dos fases de la investigación tras el análisis cualitativo y cuantitativo de las respuestas de los alumnos. En este capítulo se ha hecho un esfuerzo enorme por simplificar la presentación de los datos de ambas fases del trabajo empírico. Para ello, se presentan juntos los resultados de los dos estudios para facilitar su comparación, lo que en ocasiones no ha sido fácil, precisamente por el dinamismo de los materiales utilizados. También, se ha intentado recoger una amplia diversidad de comentarios explícitos de diferentes alumnos de forma que, a lo largo de todo el estudio, se mostrasen las respuestas del mayor número de alumnos posible.
- En el capítulo 5 se presentan las conclusiones del trabajo, aportaciones del trabajo a la didáctica de las ciencias experimentales y posibles actuaciones futuras.

Además de la bibliografía se incluyen tres anexos: una recopilación de las concepciones alternativas sobre reacciones químicas que se deben tener en cuenta en ciertos momentos de la investigación, la propia unidad didáctica (entendiendo que es un material cambiante por su diseño) y una muestra de resolución teórica de cada una de las situaciones problemáticas abiertas planteadas.

Antes de iniciar la memoria cabe señalar que los cambios legislativos que han tenido lugar durante el desarrollo del presente trabajo hacen que algunas veces se hable de conceptos, procedimientos y actitudes por el momento en el que se diseñó y desarrolló inicialmente del trabajo, pero, como se justificará en el capítulo 3, son perfectamente traducibles a terminología de conocimientos, capacidades y actitudes propia de los currículos basados en competencias. Lejos de parecer algo negativo, esto muestra que los métodos indagativos como la MRPI son susceptibles de ser aplicados en múltiples contextos sociales y legislativos para producir los aprendizajes significativos buscados.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

En el este capítulo se muestra un resumen del marco teórico que se ha tenido en cuenta como referencia en la presente investigación.

La reflexión sobre el estado actual de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias da paso al análisis de la indagación como propuesta metodológica. Dentro de las diversas opciones que ésta presenta se detalla el aprendizaje basado en problemas y, más en concreto, en la metodología de resolución de problemas por investigación (en adelante la MRPI) por ser la desarrollada en el presente trabajo. Además se analizan aspectos relevantes a la hora de aplicar dicha metodología como son el trabajo cooperativo en el aula o la contextualización de los problemas.

1.1. EL PRESENTE DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Para intentar comprender la situación del sistema educativo español en relación a la ciencia y compararla con la de otros países, se cuenta con los datos que arrojan los resultados obtenidos en dos programas de evaluación internacional: el TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) y el PISA (Programme for International Student Assessment).

En cuanto a la situación en la educación primaria, se pueden analizar los datos obtenidos en las pruebas del TIMSS que cada cuatro años evalúa la competencia matemática y científica. La prueba es desarrollada por la Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo (IEA, por sus siglas en inglés y en España por el Instituto Nacional de Evaluación Educativa, INEE) que se encarga desde el año 2002 de la coordinación y desarrollo de estos estudios.

El último estudio, TIMSS 2011, se realizó con 4.183 alumnos españoles de en alumnos de 9-10 años (4º de primaria), de un total de más de 261.000 estudiantes de 34 países pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), entre los que se encuentran los más desarrollados del mundo y otros ocho del G20.

En concreto, la competencia científica se evalúa con el denominado TIMSS-Ciencias (MECD, 2012), que recoge datos de tres dominios cognitivos (conocer, aplicar y razonar) y tres de contenidos (sobre ciencias de la vida, ciencias físicas y ciencias de la tierra) según se muestra en el cuadro 1.1.

DOMINIOS DE CONTENIDO	DOMINIOS COGNITIVOS	MEDIA UE	MEDIA OCDE	MEDIA ESPAÑA
Ciencias de la vida	Conocer	524	525	513
Ciencias físicas	Aplicar	518	521	497
Ciencias de la tierra	Razonar	518	521	499

CUADRO 1.1. COMPARACIÓN DE VALORES MEDIOS POR DOMINIOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA TIMSS-CIENCIAS PARA ESPAÑA, PAÍSES OCDE Y DE LA UE PERTENECIENTES A LA OCDE. (Datos extraídos del Informe español PILS-TIMSS 2011).

Se comprueba que, en todos los casos, España se sitúa por debajo de la media tanto si se compara con la media de los países de la OCDE como si se hace con los países de la Unión Europea pertenecientes a ella.

En el caso de la educación secundaria, la OCDE comenzó en el año 2000 el programa PISA, en el que se profundiza a continuación por su relación con la presente investigación.

El propósito de esta prueba es evaluar la evolución de los resultados de los distintos sistemas educativos mediante la valoración del rendimiento de los alumnos de 15 años en competencias consideradas clave como son la lectora, la matemática y la científica. Las pruebas se realizan cada tres años, evaluando de forma general las tres competencias y de forma más exhaustiva una de ellas. El primer análisis específico de la competencia científica se realizó en el año 2006 y volverá a realizarse en el año 2015.

Los datos de las pruebas 2000 a 2012 sobre competencia científica se recogen en el cuadro 1.2.

PISA 2000	PISA 2003	PISA 2006	PISA 2009	PISA 2012
491(500)	487(500)	488(500)	488(500)	496(501)

CUADRO 1.2. VALORES MEDIOS PARA LA COMPETENCIA CIENTÍFICA EN LAS DISTINTAS PRUEBAS PISA (Datos extraídos de los informes PISA 2000 a 2012). Los datos entre paréntesis indican el valor medio de los países de la OCDE.

Se observa que en las cinco pruebas los resultados españoles están estadísticamente por debajo de la media de la OCDE de forma significativa, aunque parece haber una evolución positiva en el último estudio.

Pero la prueba que más información arroja, por ser específica de ciencias es la PISA 2006. Su propósito era conocer si los estudiantes están preparados para los retos del futuro, si serán capaces de analizar sus ideas,

razonarlas y comunicarlas de manera efectiva, además de indagar en sus intereses científicos presentes y futuros.

En relación a las competencias científicas, el estudio se centra en tres dominios (identificar cuestiones científicas, explicar fenómenos de manera científica y utilizar pruebas científicas) y concreta los contenidos en cuatro bloques (sistemas físicos, sistemas vivos, sistemas terrestres y espaciales y conocimientos sobre la ciencia). La prueba se llevó a cabo en 57 países (30 de la OCDE y 27 asociados) y en España se aplicó a 20.000 alumnos (de 687 centros y 10 comunidades autónomas). Los resultados se elaboran situando el promedio de los valores alcanzados por los países de la OCDE en el valor 500, con una desviación estándar de 95. El resultado global de la prueba señala para España un valor promedio de 488. En el cuadro 1.3 se muestran desglosados los resultados españoles.

COMPETENCIAS CIENTÍFICAS	MEDIA ESPAÑA
Identificar cuestiones científicas	489*
Explicar fenómenos de manera científica	490*
Utilizar pruebas científicas	485*
CONTENIDOS	MEDIA ESPAÑA
Sistemas físicos	477
Sistemas vivos	498
Sistemas terrestres y espaciales	493
Conocimientos sobre la ciencia	489

CUADRO 1.3. COMPARACIÓN DE LOS VALORES MEDIOS OBTENIDOS EN ESPAÑA Y EN LA OCDE EN LAS COMPETENCIAS Y CONTENIDOS ANALIZADOS EN LA PRUEBA PISA 2006. *Datos señalados en el informe como estadísticamente significativos por debajo de la media de la OCDE (500).

Se evidencia que todas las competencias están, desde el punto de vista estadístico, significativamente por debajo de la media de la OCDE. Además, en el caso de los conocimientos, el informe internacional remarca la debilidad de nuestro país en lo relativo a los sistemas físicos (estructura de la materia, propiedades de la materia, cambios químicos, movimientos y fuerza, energía y sus transformaciones y la interacción entre materia y energía), donde se enmarca la disciplina escolar de Física y Química, citando textualmente:

“Los países en los que los alumnos muestran una debilidad relativa en la escala “sistemas físicos” son Portugal y España y el país asociado Tailandia. En general, los países que muestran una debilidad relativa en sistemas físicos también tienden a estar entre los

países cuyos promedios en la escala combinada de las ciencias están por debajo de la media de la OCDE" (Informe PISA 2006, p.79).

En lo relativo a los aspectos metodológicos (enmarcados en el estudio sobre el contenido "conocimiento acerca de la ciencia"), se obtiene 489 puntos, 11 por debajo del promedio de la OCDE.

Los otros dos bloques, "sistemas vivos" y "sistemas terrestres y espaciales" asignados a las áreas curriculares de Biología y Geología respectivamente, superan en 21 y 16 puntos al bloque de "sistemas físicos". Para Pérez-Landazábal y Varela (2013), estos datos indican que no sólo se puede afirmar que las ciencias en España se encuentran en una situación crítica desde el punto de vista educativo, sino que la Física y Química, como disciplina escolar, presenta una debilidad relativa frente a otras áreas como la Biología y la Geología. Por ello, las autoras concluyen que la enseñanza de la Física necesita una revisión severa, lo que se puede extender a la enseñanza de la Química, unidas en el estudio.

Dado que la presente investigación se centra en la resolución de situaciones problemáticas, es de especial interés analizar los resultados del último informe PISA del año 2012 (INEE, 2013a y 2013b) donde, además estudiar las competencias habituales, se incluye la capacidad de los estudiantes para resolver problemas. Esta competencia pretende medir los procesos cognitivos esenciales que los estudiantes utilizan para resolver los problemas que pueden encontrarse en su vida cotidiana:

- Su capacidad para comprender y resolver situaciones en las que la solución no es obvia de forma inmediata.
- Su disposición a alcanzar su propio potencial como ciudadano constructivo y reflexivo.
- Su capacidad para explorar y comprender un problema, así como para representarlo y formularlo; y
- Su capacidad para planificar, ejecutar, controlar y reflexionar para dar con la solución al problema planteado.

Los datos obtenidos sitúan, alarmantemente, a España 23 puntos por debajo de la media de la OCDE (477 frente a 500) con un 28% de los alumnos en los niveles más bajos de competencia (1 o menos de 1 en una escala del 0 al 6) frente a los valores medios de la OCDE (20%).

Este hecho apoya la importancia de enseñar a los alumnos a resolver problemas desde otro punto de vista que no sea el tradicional, centrado en la repetición.

Pero más allá de contenidos y competencias, para explorar la situación de la educación científica se debe tener en cuenta la perspectiva de los estudiantes. Es importante conocer sus percepciones y actitudes hacia la ciencia e incluso sus inquietudes futuras. Para ello, se analizan a continuación las respuestas dadas por los alumnos en la prueba PISA 2006, que por primer vez incluye las actitudes como componentes fundamentales de la competencia científica. De ellas se pueden extraer algunos datos relativos a su interés presente y futuro hacia las ciencias:

- Una gran mayoría (93%) afirma que las ciencias son importantes para entender el mundo natural y que los avances de éstas mejoran la calidad de vida (92%), pero solo un 57% considera las ciencias como algo muy relevante para ellos.
- Un 65% de los alumnos se siente capacitado para resolver cuestionarios de ciencias en su centro escolar, pero solo el 47% considera estas materias fáciles.
- En general, el interés de los alumnos por estudiar ciencias es grande (el 67% indica que disfruta aprendiendo ciencias y que le son útiles), pero solo una minoría se ve utilizando las ciencias en un futuro (del 57% que afirma que son útiles para sus estudios futuros solo al 37% le gustaría trabajar en una carrera científica y al 21% dedicar su vida a la ciencia avanzada). En España un 27,7% espera estudiar una carrera científica.
- Tan sólo el 13% visita en internet regularmente páginas científicas, el 20% ve en televisión regularmente programas científicos y el 8% lee libros relacionados con ciencias.

Otra preocupación añadida aparece cuando se analizan los datos de estudios universitarios. Aunque en los últimos años el alumnado que cursa estudios superiores ha aumentado, en números relativos, debido a una mayor facilidad del acceso a la educación, el porcentaje de los estudiantes de ciencia y tecnología ha sufrido un descenso preocupante, llegando a ser muy significativo en el caso de algunas disciplinas como matemáticas y ciencias físicas (OCDE, 2006). Así, aunque el porcentaje de matriculados en estudios universitarios ha crecido en España 5 puntos porcentuales (de un

47% en 2000 a un 53% en 2011) y en la OCDE 12 puntos (de un 47% a un 60%), el número de graduados en matemáticas, ciencias y tecnología en Europa ha pasado de ser el 24,4% en 2001 al 21,4% en 2010 (OCDE, 2013a, Eurydice, 2012). La comunidad europea ya mostraba en 2004 su preocupación por esta tendencia en el informe final de la conferencia “Europe needs more Scientists” donde señalaba que:

“...Las estadísticas proporcionadas por fuentes nacionales confirman la existencia de falta de interés entre los estudiantes de muchos países, en cuanto a las disciplinas clásicas del área científica (física, química, matemáticas) ...” (Gago et al., 2004, p. IV).

La complejidad y diversidad de las aulas no permite la simplificación para dar un diagnóstico tajante de lo que ocurre actualmente en las clases de ciencias pero, a partir de todos los datos que se han mostrado, se puede afirmar que es necesaria una reflexión sobre las causas de los desajustes en la enseñanza de las ciencias en España (Puente, 2008; Pérez-Landazabal & Varela, 2013), e incluso sobre la formación de futuros docentes (Cárdenas & Huertas, 2013; Hernández, 2006).

1.2. LAS REFORMAS EDUCATIVAS Y LA NECESIDAD DE UN CAMBIO METODOLÓGICO

Después de lo comentado anteriormente se puede pensar que la enseñanza de las ciencias se encuentra en un momento crítico, que algo no funciona adecuadamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de éstas, pero ¿tiene que ver con la forma de dar clase en las aulas, con el currículo o con la motivación del alumnado?, ¿cuál es el foco en el que hay que centrarse?, ¿es necesaria una nueva reforma educativa?

En el año 2013 se preguntó a jóvenes de 15 años de la OCDE por su visión general de la escuela. En su mayoría señalaron que lo que aprenden en la escuela es útil para su futuro, que no es una pérdida de tiempo (91%), que la escuela les ha enseñado cosas útiles para un empleo (88%) y les ha preparado para la vida adulta (76%) incluso les ha ayudado a darles la confianza para tomar decisiones (74%) (OCDE, 2013b). Además, el informe de la OCDE, de abril de 2014, sobre la situación de la educación española subraya, entre sus malos resultados, aspectos positivos de los centros como el buen ambiente percibido por los alumnos, y pone el énfasis en la labor de profesores y miembros de equipos directivos como punto clave para la mejora de sus resultados (OCDE, 2014).

Esta imagen tan positiva de la escuela se topa de frente con los datos concretos sobre las actitudes hacia la ciencia de la prueba PISA comentados en el apartado anterior. Además, en un estudio del eurobarómetro del 2005 sobre “Europeos, ciencia y tecnología”, que recoge las actitudes de los alumnos hacia las ciencias y sus intenciones futuras de estudio, se señala que sólo el 15% de los europeos están satisfechos con la calidad de las clases de ciencia en la escuela. Es pues posible que la forma de impartir las clases de ciencias en las aulas, básicamente expositivas, esté llevando a una desmotivación hacia su aprendizaje. No es que no existan alternativas, las propuestas educativas innovadoras para aplicar en el aula llevan mostrando su eficacia en la comunidad educativa durante los últimos 30 años, pero su aplicación es aún muy puntual.

La preocupación por la situación de la educación científica llevó a la Comisión Europea a encargar, en 2006, al miembro del parlamento europeo Michel Rocard que dirigiera un grupo de expertos para que evaluase una muestra significativa de proyectos innovadores y extrajera conclusiones y

medidas para evitar esta falta de interés entre los jóvenes por los estudios científicos. El trabajo se recoge en el conocido como “Informe Rocard” que centra su principal objetivo en la manera de enseñar ciencia en primaria y secundaria (Rocard et al., 2007).

Entre sus conclusiones aparece, claramente, que las prácticas docentes fundadas en métodos basados en la indagación son más efectivas que las tradicionales y, recomienda una reorientación de la pedagogía de la enseñanza de las ciencias abandonando los métodos deductivos y reforzando los métodos de investigación.

Si se ahonda en este hecho, en el dictamen del comité de regiones del 17 de mayo de 2013, “Un nuevo concepto de la educación”, los expertos de la Unión Europea señalan la necesidad de estimular un aprendizaje abierto y flexible (Valcárcel, 2013). En él, se aboga porque el nuevo concepto de educación considere aptitudes clave, como son el pensamiento creativo, la comunicación, el tratamiento de la información o la capacidad de trabajar en grupos, pues complementan y facilitan las competencias básicas del aprendizaje.

Así pues, la necesidad de un cambio metodológico lleva al análisis de otros métodos diferentes al expositivo tradicional: los métodos inductivos, genéricamente denominados indagativos o indagación.

Aunque parezca algo novedoso, ya en la segunda mitad del siglo XX, con el desarrollo de la investigación educativa, la introducción de métodos inductivos o indagativos (en inglés inquiry) era para algunos la clave de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, como señala en su análisis De Boer:

"Si una sola palabra tuviera que ser elegida para describir los objetivos de los educadores de ciencias durante el período de 30 años que comenzó a finales de 1950 , esa tendría que ser INDAGACIÓN (INQUIRY)"(De Boer, 1991, p. 206 en Haury, 1993).

De hecho, en los currículos escolares españoles de los últimos años ya se indica la introducción de esta metodología. Desde la LOGSE se recomendaba la utilización de métodos investigativos:

"Los alumnos han de conocer y utilizar algunos métodos habituales en la actividad científica [...]: planteamiento de problemas [...]; utilización de fuentes de información de manera sistemática [...]; formulación de hipótesis [...]; contraste de hipótesis mediante la

observación rigurosa y [...] la planificación y realización de experimentos; recogida, organización y análisis de los datos; discusión de conclusiones..." (MEC, 1991, p. 41).

También lo hace la LOE (2006) introduciendo ya el término indagación al incorporar la competencia científica:

"Esta competencia hace posible identificar preguntas o problemas y obtener conclusiones basadas en pruebas [...]. Esto implica la habilidad progresiva para poner en práctica los procesos y actitudes propias de la indagación científica: identificar y plantear problemas relevantes; realizar observaciones directas o indirectas con conciencia del marco teórico que las dirige; formular preguntas; localizar, obtener, analizar y representar información cualitativa y cuantitativa; plantear y contrastar soluciones tentativas o hipótesis; realizar predicciones e inferencias de distinto nivel de complejidad, e identificar el conocimiento disponible, teórico y empírico, necesario para responder a las preguntas científicas, y para obtener, interpretar, evaluar y comunicar conclusiones..." (MEC, 2007, p. 687).

No obstante, su puesta en marcha es minoritaria. Este problema no solo es detectable en España, en la mayoría de los países europeos los cursos de ciencias se siguen impartiendo, mayoritariamente, con métodos denominados deductivos, es decir con una explicación de la teoría y su base matemática y con la posterior realización de ejercicios, generalmente con escasas aplicaciones a la vida real. El Informe Rocard (2007) señala que aunque los expertos indican que, efectivamente, las prácticas pedagógicas fundadas en métodos basados en la indagación son más efectivas que las tradicionales, en muchos países europeos se desarrollan en ámbitos concretos pero no se han implementado de forma general. Además, es fundamental conectar el contenido a trabajar con el mundo real pues su desconexión parece contribuir al abandono de los estudios de ciencias (Seymour & Hewitt, 1997; Kardash & Wallace, 2001 en Prince & Felder 2007).

En sus conclusiones, el informe Rocard (2007) recomienda una reorientación de la pedagogía de la enseñanza de las ciencias en las escuelas y en la formación del profesorado, dejando más a un lado los métodos deductivos (no abandonándolos completamente) e introduciendo los métodos basados en la indagación, que ya han demostrado su eficacia en primaria y secundaria, aumentando el interés de los estudiantes por las ciencias.

También parece que existe un consenso entre la comunidad educativa internacional sobre la adecuación de utilizar estas metodologías. Como

pionero, Estados Unidos ha dado un gran impulso a la introducción de la indagación en el ámbito escolar (Keys & Bryan, 2001). En 1996, el NCR (National Research Council) ya recogía el consenso de la comunidad educativa científica sobre el papel de la indagación como base de la instrucción, al introducir en el NSES (The National Science Education Standards) la sugerencia de desarrollar en las clases de ciencias "*habilidades necesarias para hacer indagaciones científicas*" como "*la comprensión de la indagación científica*" (NRC, 1996, p. 121). En el trabajo de Abd-El-Khalick et al. (2004) se analiza la indagación y su potencial en nueve experiencias de seis países de tres continentes diferentes (Estados Unidos, Líbano, Reino Unido, Israel, Venezuela, Australia, Taiwán) y Gaigher, Lederman & Lederman (2014) hacen lo propio para alumnos sudafricanos.

En relación a España y su "crisis educativa" el informe McKinsey "Educación en España. Motivos para la esperanza" señala que es posible revertir esta situación (Calleja, Collado, Macías & San José, 2012). A partir del estudio de veinte métodos de enseñanza novedosos implementados en otros países concluye que para mejorar la enseñanza es básica la motivación y cualificación de los profesionales pero remarca que para conseguir la "excelencia educativa" son necesarias medidas específicas como la experimentación e innovación en el aula.

Con todas las recomendaciones que se han relatado, la indagación aparece como una posibilidad real de la mejora de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, por lo que en el siguiente apartado se analiza más en profundidad.

1.3. LA INDAGACIÓN EN LAS CLASES DE CIENCIAS

La indagación está ligada a la propia naturaleza del ser humano pues éste es curioso de forma innata (NCR, 2000). Desde que nace observa, intenta relacionarse e interaccionar con el entorno y aprende por ensayo y error. Incluso la historia de la humanidad es un relato del desarrollo de capacidades y habilidades que, por medio de la indagación, permiten mejorar la vida en un entorno determinado. El avance de la ciencia en sí misma es un reto de indagación continuo. Pues bien, esa curiosidad innata puede ser la base para la indagación en las clases de ciencias.

Aunque es muy amplio el abanico de las posibles formas de indagación en el aula, existe una característica común: se centran en el alumno y asumen que aprender es construir conocimiento. En ellas, se ofrece un reto al alumno y él debe decidir lo que necesita para resolverlo siendo ese desarrollo el que dará lugar al propio aprendizaje (Prince & Felder, 2006). Así, el profesor es un guía, no explica de forma explícita los conceptos que surgen, y es el alumno el que construye su propio conocimiento favoreciendo su desarrollo intelectual.

Pero el proceso no es lineal. El alumno es partícipe de su aprendizaje y debe ser capaz de analizar los resultados y, si lo considera necesario, volver sobre su investigación y proponer alternativas a su resolución. La indagación es pues una manera de implementar la metodología científica que reconoce, expresamente, la existencia de un proceso de carácter cíclico, a diferencia de la forma tradicional de formular el método científico (Sandoval, 2004).

Pero, ¿qué es en pocas palabras la indagación? Para Linn, Bell y Davis (2004):

"Es el proceso intencional de diagnosticar problemas, criticar los experimentos, distinguir las alternativas, planificar investigaciones, investigar hipótesis, buscar información, construir modelos, debatir con sus compañeros, y dar forma a argumentos coherentes" (Linn et al., 2004, p. 4).

Si se profundiza más, en la enseñanza y aprendizaje por indagación se debe distinguir entre la indagación como medio (indagación en la ciencia) y la indagación como fin (indagación sobre la ciencia) (Abd-El-Khalick et al., 2004).

En este sentido, la indagación como medio (indagación sobre ciencias) se refiere al método de enseñanza destinado a ayudar a los estudiantes a desarrollar la comprensión de los contenidos científicos (es decir, el contenido es un fin u objetivo de enseñanza). La indagación como fin (indagación en ciencias) se refiere a la indagación como finalidad de la enseñanza, los estudiantes aprenden a investigar en el contexto de los contenidos científicos y desarrollan conocimientos epistemológicos acerca de la naturaleza de la ciencia, además de adquirir habilidades propias del trabajo científico (Abd-El-Khalick et al., 2004). Todo ello lleva a una comprensión de cómo los científicos realizan su trabajo y de la propia naturaleza de la ciencia, convirtiendo el proceso en un poderoso vehículo para que los estudiantes aprendan el contenido científico (NCR, 1996, p. 121).

Si se revisa la literatura, es habitual hablar del proceso de enseñanza-aprendizaje de forma global pues ambos están íntimamente ligados. Bien entendido que ambos forman parte de un proceso único, existen ciertos aspectos que necesitan de una reflexión por separado (Prince & Felder, 2006).

Desde el punto de vista del alumno, según se ha visto, la indagación le proporciona valiosas oportunidades en el aprendizaje pues durante el proceso:

- Desarrolla habilidades generales de indagación (propone y perfecciona cuestiones de investigación, plantea hipótesis, diseña y lleva a cabo investigaciones para comprobarla, analiza y comunica los resultados) (Edelson, Gordin & Pea, 1999; NCR, 1996).
- Adquiere destrezas específicas de investigación (que pueden ser diferentes según las disciplinas) como el control experimental, la modelización, la síntesis de compuestos o la exploración de datos cuantitativos) (Edelson et al., 1999).
- Asimila conceptos y principios científicos (Edelson et al., 1999) y desarrolla una actitud positiva hacia el aprendizaje de éstos (García-Carmona, 2009).
- Reconoce la necesidad de conectar los hechos, habilidades y comprensión conceptual (Prince & Felder, 2007).

- Se enfrenta con sus conocimientos previos logrando cambios conceptuales permanentes en el tiempo (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005a).
- Plantea cuestiones y colabora con otros (PRIMAS)

Desde el punto de vista del profesor, de la enseñanza, la indagación consistiría en propiciar el entorno adecuado para que se produzca ese aprendizaje, en palabras de Crawford (2014):

"La enseñanza de la ciencia como indagación implica involucrar a los estudiantes en el uso de habilidades de pensamiento crítico, que incluye formular preguntas, diseñar y llevar a cabo investigaciones, interpretar de datos como prueba, crear argumentos, construir modelos, y comunicar los resultados, en la búsqueda de profundizar su comprensión mediante el uso de la lógica y las evidencias acerca del mundo natural"(Crawford, 2014 en Odegaard, Haug, Mork & Sorvik 2014, p. 2998).

Así, un profesor que enseña por indagación:

- Crea una clase con actividades básicamente abiertas, centradas en el alumno y prácticas (Colburn, 2002).
- Proporciona un reto específico, como puede ser unos datos experimentales a interpretar, el estudio de un caso para analizar, o un problema del mundo real para resolver (Prince & Felder, 2007).
- Supervisa el proceso y ayuda a los estudiantes a aprender por su cuenta (Prince & Felder, 2007).
- Fomenta y valora el razonamiento de los estudiantes (PRIMAS).
- Motiva al alumno (Soloway, Guzdial & Hay, 1994, en Edelson et al., 1999), para ello, es muy importante que el alumno reconozca la utilidad cercana y real del aprendizaje, lo que supone que el profesor plantee problemas de la vida cotidiana y contemple aspectos históricos relevantes (Garritz, 2012).
- Planifica las indagaciones en las que además de la motivación, tiene en cuenta el conocimiento previo del alumnado o las limitaciones materiales a la hora de realizar la propia indagación (Edelson et al. 1999).
- Apoya y procura el andamiaje adecuado en el desarrollo de la indagación (PRIMAS).

Pero las formas de indagación en el aula son múltiples (Keys & Bryan, 2001). No es fácil clasificarlas, se podría decir que cada profesor puede aplicar una forma de indagación acorde a sus necesidades según el momento:

"La forma en la que la indagación se desarrolla en el aula depende de las metas que el profesor pretenda en cada momento. Puede ser más estructurada o completamente abierta" (NRC, 2000, p. 5).

Clasificar las posibles formas de indagación es pues realmente complicado, y se podría realizar en base a múltiples criterios. Para Colburn (2002) todas ellas se podrían agrupar básicamente en cuatro:

- *Indagación estructurada (structured inquiry)*: el profesor proporciona a los alumnos un problema práctico, el material y el procedimiento pero no se informa de a dónde se quiere llegar.
- *Indagación guiada (guided inquiry)*: el profesor proporciona el problema y los materiales pero no el procedimiento.
- *Indagación abierta (open inquiry)*: método semejante al anterior pero en este los alumnos deben formular el problema a investigar.
- *Círculo de aprendizaje (learning cycle)*: se involucra a los alumnos en una actividad que introduce un nuevo concepto, entonces el profesor proporciona el nombre formal de éste y, por último, los alumnos lo asumen aplicándolo en otro contexto.

Para Prince & Felder (2006), los métodos inductivos o indagativos de enseñanza se agruparían en torno a siete tipos principales:

- *Enseñanza basada en la indagación o indagación guiada (inquiry guided teaching, IBT, o guided inquiry)*: el profesor presenta al alumno un reto y el aprendizaje se logra en el proceso de responder a ese reto del que, previamente, no tiene datos. El apoyo del profesor varía según el tipo de indagación.
- *Enseñanza por descubrimiento (discovery teaching)*: el profesor propone un reto al alumno pero debe responderlo sin que se le proporcione apenas información, antes o durante el proceso, tan sólo al final.
- *Enseñanza basada en problemas (problem-based teaching)*: el profesor propone a los alumnos, generalmente en grupo, un problema abierto del mundo real que deben resolver averiguando

qué saben, acotando el problema, formulando y evaluando soluciones alternativas, seleccionando la más adecuada y evaluando lo aprendido. El profesor guía y proporciona la información cuando le sea requerida pero no a priori.

- *Enseñanza basada en proyectos (project based teaching)*: el profesor asigna un proyecto al alumno (de forma individual o en grupo) para que llegue a presentar un producto final (que puede ser el diseño de un proceso o la obtención del producto en sí). El profesor previamente ha enseñado los conocimientos necesarios para que los apliquen adecuadamente en el proyecto.
- *Enseñanza híbrida basada en proyectos y problemas (Hybrid o problem/ project-based teaching)*: es una mezcla de los dos anteriores. El profesor presenta un proyecto a realizar en grupo, pero la meta principal es adquirir el conocimiento más que aplicarlo.
- *Enseñanza basada en casos (Case-based teaching)*: el profesor propone un caso histórico o hipotético sobre una situación que se puede presentar en la vida real (o en su futura práctica profesional) y el alumno debe analizar la situación y proponer soluciones. El profesor debe diseñar o seleccionar, adecuadamente, el caso que utilice el conocimiento, haga al alumno tomar decisiones y le enfrente a sus concepciones alternativas.
- *Enseñanza "just in time" (Just-in-time teaching)*: el profesor propone, antes de cada clase, unas cuestiones (sobre materia no impartida) que los alumnos contestan en plataforma electrónica. En base a esas respuestas de los alumnos (principalmente a las erróneas) el profesor configura la clase a impartir.

Para ayudar al profesorado, Prince y Felder (2007) hacen un esfuerzo por relacionarlos con la demanda de instrucción requerida en cada uno y la resistencia del alumnado que se van a encontrar durante su implementación, cuadro 1.4.

MÉTODO	RECURSOS QUE REQUIERE	TIEMPO DE PLANIFICACIÓN Y DE INSTRUCCIÓN REQUERIDOS	RESISTENCIA DE LOS ALUMNOS
Indagación	Ninguno	Escaso	Mínima
Casos (individual)	Casos	Escaso (para casos existentes) Considerable (para casos originales)	Mínima
Basado en proyectos (individual)	Facilidad para proyectos experimentales	Escasa (para el mismo proyecto, sin mantenimiento de instalaciones) Moderado (diferentes proyectos, mantenimiento de instalaciones)	Mínima
Just in time	Curso basado en sistema de gestión de la web	Moderado (continua necesidad de ajustar la planificación de la lección para reflexionar sobre las respuestas de los estudiante ante las preguntas del inicio de la clase)	Moderada
Casos (equipo)	Casos	Considerable (gestión del equipo)	Considerable
Basado en proyectos (equipo)	Facilidad para proyectos experimentales	Considerable (gestión del equipo, mantenimiento de instalaciones)	Considerable
Basado en problemas	Problemas	Considerable (para problemas existentes) Grande (para problemas originales)	Grande
Híbrido (basado en problemas y en proyectos)	Problemas y facilidad para proyectos experimentales	Considerable (para problemas existentes) Grande (para problemas originales)	Grande

CUADRO 1.4. RELACIÓN ENTRE LOS DIVERSOS MÉTODOS DE ENSEÑANZA INDUCTIVOS Y LA DEMANDA DE INSTRUCCIÓN REQUERIDA (Fuente: Prince & Felder, 2007).

Una vez caracterizados los métodos y el papel tanto del alumno como del profesor en el proceso de enseñanza-aprendizaje por indagación, se analiza a continuación algunas ventajas e inconvenientes de su implementación.

En cuanto a su efectividad, son muchos los informes favorables acerca de la utilización de estos métodos indagativos. En ese sentido, Abd-El-Khalick et al., (2004) muestran nueve experiencias positivas de diferentes países y Minner, Levy y Century (2010) realizan un exhaustivo análisis de 1027 documentos sobre la educación basada en la indagación de entre los años 1984 y 2002, entre los que seleccionan algunos para su evaluación, tras lo que llegan a afirmar que:

"Varios hallazgos de los 138 estudios analizados indican una clara tendencia positiva a favor de las prácticas de enseñanza basadas en la indagación, en particular de instrucciones que hacen hincapié en pensamiento activo de los estudiantes y la extracción de conclusiones a partir de datos. Las estrategias de enseñanza que involucran activamente a los estudiantes en el proceso de aprendizaje a través de las investigaciones científicas tienen más probabilidades de aumentar la comprensión conceptual que estrategias que se basan en técnicas más pasivas,

que a menudo son necesarias en el entorno educativo actual cargado de evaluaciones estandarizadas" (Minner et al., 2010, p. 474).

Aún así, existen algunas voces discordantes que insisten en que los métodos de aprendizaje no guiados o poco guiados como la indagación no son tan efectivos como los guiados (Kirschner, Sweller & Clark, 2004). La confusión quizá está en considerarlos no guiados, pues realmente el profesor orienta en el autoaprendizaje del alumno pero en base a un diseño de las actividades efectivas, de tipo andamiaje, "scaffolding", que posibilitan la adquisición del conocimiento progresivo (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Otros autores dudan sobre si los métodos indagativos, como los basados en la resolución de problemas, proporcionan o no mejor base de conocimientos que los que siguen metodologías más transmisivas (Colliver, 2000). En ese sentido las investigaciones revelan que, con frecuencia, los métodos indagativos no solo mejoran el rendimiento académico sino que también desarrollan habilidades de razonamiento, resolución de problemas, destrezas de laboratorio y el aprendizaje autodirigido (Haury, 1993; Hmelo-Silver et al. 2007; Oliver-Hoyo, Allen, Hunt, Hutson & Pitts, 2004; Smith 1996 en Prince & Felder, 2007).

También, se ha demostrado que favorece la alfabetización científica y, en el caso de actividades de laboratorio indagativas, se mejora en las habilidades propias de la investigación científica, además de incrementar la autoconfianza del alumno en lo referente a sus propias habilidades científicas (Gormally, Brickman, Hallar, & Armstrong, 2009). No solo resulta positivo en lo referente al aprendizaje conceptual (Minner et al., 2010) sino que se ha comprobado que genera en los estudiantes una actitud positiva hacia el aprendizaje de los contenidos (García-Carmona, 2009) y aumenta el interés por la ciencia (Jocz, Zhaib & Tan, 2014; Rocard et al., 2007), además de proporcionar oportunidades para la cooperación con empresas, investigadores, universidades, asociaciones, padres, etc. Incluso, otras investigaciones neurológicas y psicológicas apoyan y recomiendan estos métodos por producir aprendizajes más profundos y por tanto conllevar mayor desarrollo intelectual (Bransford, Brown & Cocking, 2000).

En cuanto los aspectos negativos, queda patente que estos métodos provocan ciertas resistencia tanto por parte de los estudiantes como del profesorado (Lawson, 2000; R. D. Anderson, 2002) lo que justifica en cierta manera su lenta y minoritaria implementación (Byers & Fitzgerald, 2002; Rocard, 2007). Incluso en Estados Unidos, donde los estándares de

educación insisten en la incorporación de la indagación en las aulas, la implementación en secundaria y bachillerato, en el 2004, no superaba el 10% (Roehrig & Luft, 2004).

Efectivamente, los métodos indagativos suelen presentar cierta reticencia por parte del alumnado debido a su mayor requerimiento de trabajo, en principio superior que en los métodos tradicionales. Esta resistencia es mayor en algunos métodos, como el de resolución de problemas según se señaló en el cuadro 1.4. Además, los estudiantes pueden presentar dificultades al llevar a cabo investigaciones sistemáticas, pues ciertas tareas como la recopilación de datos, el análisis, la interpretación o la comunicación les suponen un reto al necesitar de ciertos conocimientos del área en cuestión (Edelson et al.1999). Es más, en algunos casos, pueden mostrar un cierto grado de frustración al no ser conscientes de su propio aprendizaje o de que han aprendido lo necesario en relación a un curso tradicional (Sundberg & Moncada, 1994).

En cuanto a la resistencia por parte del profesorado, puede deberse a la elevada demanda, sobre todo inicial, tanto en la preparación de materiales como en la implementación en el aula. Para Edelson et al. (1999) el profesor que diseña una indagación se enfrenta a cinco retos:

- La motivación requerida (para estas actividades suele ser mayor que en las tradicionales).
- La accesibilidad a técnicas de investigación (los alumnos a los que se propone deben ser capaces de planificar, recoger datos, interpretar, analizar, etc.)
- El conocimiento académico anterior que el alumno posee (debe haber una base sobre la que desarrollar y ampliar contenidos)
- La gestión de las actividades (se debe lograr que el alumno sea capaz de planificar, coordinar, gestionar, organizar, etc.); y
- Las limitaciones prácticas del contexto de aprendizaje (hay que tener en cuenta las restricciones, a la hora de su puesta en práctica, como los recursos, horarios, ajuste a la programación, etc.).

Algunos profesores reconocen el potencial de la indagación para el aprendizaje de habilidades de pensamiento de los estudiantes, pero lo consideran algo poco realista y difícil de alcanzar, por la extensión de los contenidos presentes en los currículos oficiales (Gyllenpalm, Wickman &

Holmgren, 2010). Por otra parte, para otros profesores, el escollo estaría en el tiempo y esfuerzo que requiere el desarrollar una nueva metodología (PRIMAS, 2013).

Los problemas que encuentra un profesor al hacer su indagación dependen también de circunstancias particulares, por ejemplo: su capacidad para involucrar a los alumnos, el tiempo que dedica a la indagación o el apoyo que recibe de la administración (Marshall & Smart, 2013).

Algunos de los profesores que no se atreven a hacer indagación posiblemente por no tener una idea adecuada de en qué consiste la indagación en ciencias (Ireland, Watters, Brownlee. & Lupton, 2014), o al intentarlo ponen barreras a la propia indagación debido a sus fuertes creencias (Wheeler, Bell, Whitworth & Maeng, 2013). Incluso las investigaciones revelan que a ciertos aspectos básicos de la indagación muchos profesores pueden no darles la suficiente relevancia, por ejemplo en el caso de la evaluación y comunicación de resultados (Atar, 2011; Kim, Tan, & Talaue, 2013 en Wheeler et al., 2013).

Es pues muy importante que se apoye al profesorado tanto en su formación acerca de estas metodologías, sobre todo en los primeros pasos, no solo en lo relativo su implementación en el aula sino también en la preparación de materiales apropiados (Jones & Eick, 2007; R. D. Anderson 2002). Resulta de gran importancia la colaboración y reflexión entre profesores (proyecto PROFILES), pues el propio profesor que realiza las actividades de indagación está aprendiendo a hacer indagación y adquiere destrezas a medida que trabaja con los alumnos (Ash, Greene & Austin, 2000).

En ese sentido, la importancia que la Unión Europea da a la difusión y promoción de la indagación se materializa en la financiación actual de numerosos proyectos dentro del Séptimo Programa Marco (FP7), principal instrumento de la UE en materia de financiación de la investigación en Europa. Éste se centra en el llamado triángulo del conocimiento: investigación, educación e innovación (FP7). La importancia de estos proyectos va más allá de su duración oficial pues una vez finalizados los materiales elaborados se ofrecen a otros profesores de forma abierta. Algunos de los proyectos más importantes de los últimos años para la

difusión de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas, por indagación en primaria y secundaria se mencionan a continuación:

Proyecto FIBONACCI (2010-2014), Proyecto POLLEN (2006-2009), Proyecto PRIMAS (Promoting Inquiry in Mathematics and Science Education Across Europe, 2010-2013), Proyecto PATHWAY (The Pathway to Inquiry Based Science Teaching, 2011-2013), Proyecto SINUS TRANSFER (Increasing Efficiency in Mathematics and Science Education, 2003-2007), Proyecto COMPASS (Common Problem Solving Strategies as links between Mathematics and Science, 2009-2011), etc.

Una muestra de los proyectos que en la actualidad se encuentran en marcha son los siguientes:

Proyecto MASCIL (Mathematics and Science for Life, 2013-2016), Proyecto PARRISE (Promoting Attainment of Responsible Research and Innovation in Science Education, 2014-2017), Proyecto PROFILES (Professional Reflection-Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science, 2010-2014), Proyecto SAILS (Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science, 2012-2015), Proyecto PRI-SCI-NET (Networking Primary Science Educators, 2011-2014), etc.

Es interesante nombrar un proyecto estadounidense nacido para la enseñanza específica de la Química por indagación, el Proyecto POGIL (Process-Oriented Guided Inquiry Learning o Proceso Orientado de Aprendizaje Guiado por Indagación). Nace en el año 1994 para la enseñanza de la química en los primeros años de universidad, y actualmente, se ha extendido a muchos centros, tanto universitarios como de secundaria, y para otras asignaturas (POGIL).

Tras todo lo expuesto anteriormente, se puede afirmar que la indagación está adquiriendo gran relevancia no sólo en la escuela sino en la sociedad. Como se ha visto, existen múltiples formas de adaptar la indagación al aula pero, la resolución de problemas como método indagativo es de especial importancia para la presente investigación, por lo que es necesario abordarla más detenidamente en el siguiente apartado.

1.4. LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO MÉTODO INDAGATIVO

Antes de abordar la resolución de problemas como método indagativo es interesante detenerse brevemente en reflexionar sobre qué se entiende por "problema", cuestión que ha interesado siempre tanto a psicólogos como a didactas.

La resolución de problemas es fundamental en todas las áreas científicas pero ¿qué entendemos por problema? A esta cuestión se puede contestar desde dos puntos de vista: el de la Psicología cognitiva y el de la Didáctica, en concreto de las Ciencias.

Desde el punto de vista de la Psicología las diferentes definiciones de problema se centran básicamente en dos aspectos. Por un lado en la propia tarea en sí, como algo que el individuo no sabe de antemano cómo resolver y, por otro lado, en la necesidad de buscar un medio o criterio para resolverlo, para lograr el éxito (Simon, 1978; Chi & Glaser, 1986).

Desde la didáctica, además de coincidir en el hecho de que existe siempre una incertidumbre ante la posible solución, se destaca la idea del desafío que supone resolverlo, por no ser de solución inmediata, y la exigencia de elaborar un camino de resolución o investigación para lograrlo (Caillot & Dumas-Carré, 1987; Martínez-Aznar, Varela, Ibáñez & Bárcena, 2001; Mettes, Pilot, Roossink & Kramers-Pals, 1980; Watts, 1994).

La propuesta de un problema lleva asociada la posibilidad de resolverlo. Las actividades emprendidas para llegar a una solución de la situación planteadas se enmarcan dentro de la resolución de problemas o "problem-solving", término surgido en 1934 en el ámbito de las matemáticas (Polya, 1945) y extendido a todas las ciencias en general (Garret, 1986). Se puede considerar que el origen de las teorías de resolución de problemas parte de dos perspectivas psicológicas. La primera se basa en el pensamiento reproductivo que pone el énfasis en las conductas ensayo-error y produce un aprendizaje mecánico por la similitud de los problemas resueltos (perspectiva asociacionista). Para algunos autores, este tratamiento de la tarea es superficial y confuso y no permite avances significativos (Martínez-Aznar et al., 2001). La segunda se enmarca dentro de la psicología de la Gestalt y supone que la resolución implica un

pensamiento productivo, pues lleva a la génesis de algo nuevo. Partiendo de la estructura del problema, intenta relacionar unos aspectos con otros (comprensión estructural del problema) y reorganizar los elementos del problema para alcanzar el objetivo de resolverlo (Mayer, 1986).

Tras estas perspectivas, a partir de las aportaciones de Newell y Simon en este campo, surge en los años ochenta una corriente de gran fuerza conocida como "procesamiento de la información". En ésta, se considera la resolución de problemas como una interacción triple entre el sistema de procesamiento de la información, el sujeto que lo soluciona y el ambiente de la tarea (Simon, 1978).

Por último, aparece la corriente del constructivismo, enfoque psicológico asumido en la presente investigación, donde la resolución de problemas depende, fundamentalmente del contenido específico y de la representación mental que el resolvente tenga de él. En el proceso de resolución se produce una reestructuración mental a partir de las nuevas informaciones y los esquemas de conocimientos previos del sujeto, buscando así como meta un aprendizaje significativo de los contenidos trabajados en el problema.

Así, aparecen definiciones sobre qué es un problema que remarcan la conducta del resolvente:

"Una situación incierta que provoca en quien la padece una conducta (resolución del problema) tendente a hallar la solución (resultado) y reducir de esta forma la tensión inherente a dicha incertidumbre" (Perales, 2000, p.11);

o enfatizan la necesidad de poner en marcha procesos de resolución, que algunos autores asemejan a pequeñas investigaciones:

"Es una tarea que de entrada no tiene una solución evidente y como consecuencia exige investigación" (Martínez-Aznar et al., 2001, p.8).

Para diferenciar los distintos tipos de problemas podemos tomar las clasificaciones generales realizadas por Martínez-Aznar (1990) y por Perales (2000).

En el primer caso, la autora realiza una clasificación en base a tres categorías: matemática, contextual y de procedimientos. Dentro de la categoría matemática se distinguen a su vez tres tipos de problemas:

abiertos o cerrados, problemas verdaderos o ejercicios llamados puzles y, bien o mal estructurados. La clasificación se muestra en la figura 1.1.

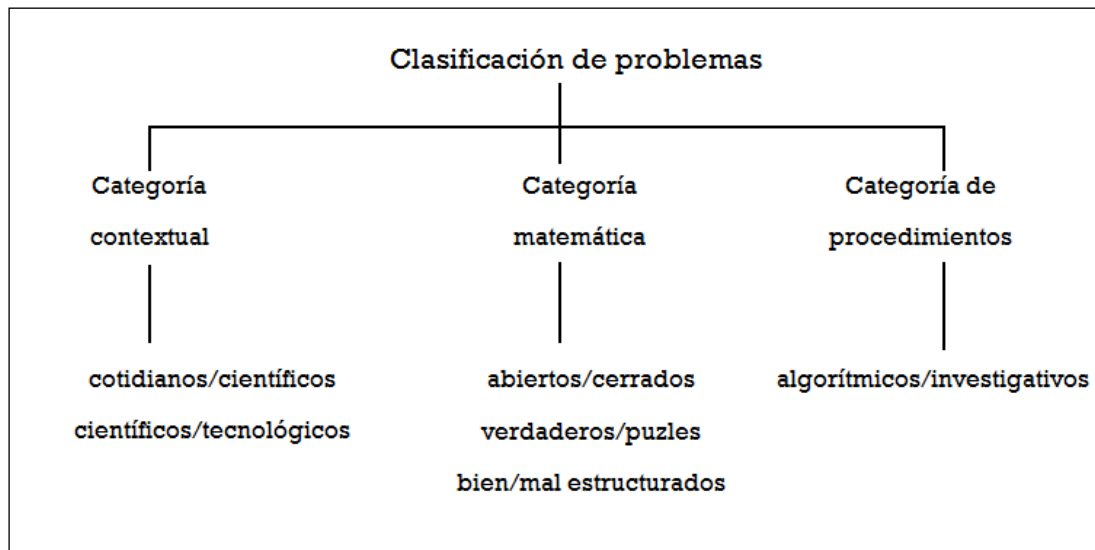


FIGURA 1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS SEGÚN CATEGORÍAS
(Tomado de Martínez-Aznar, 1990).

El segundo autor los agrupa en función de cuatro aspectos: el campo de conocimiento, el tipo de solución, la tarea requerida o el procedimiento seguido, como muestra la figura 1.2.

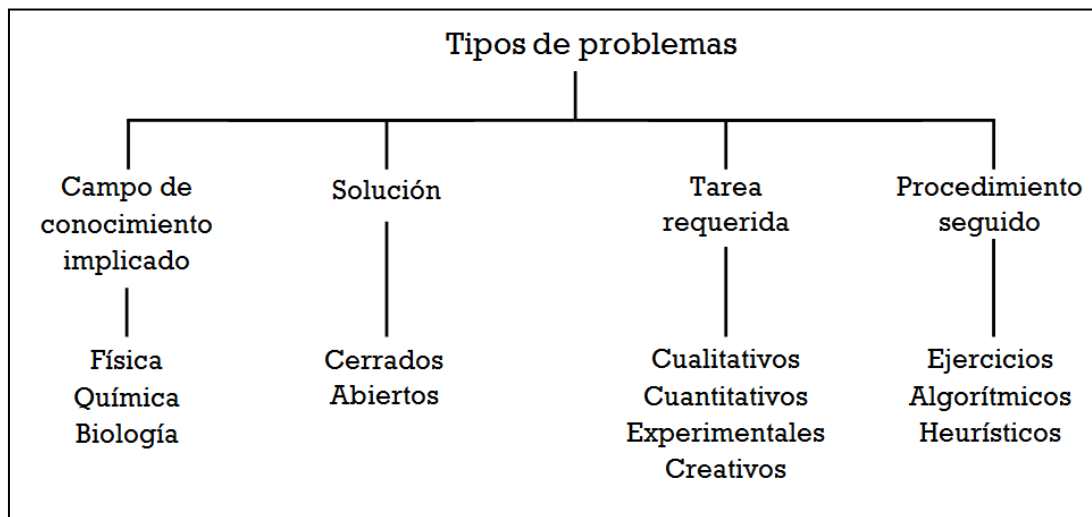


FIGURA 1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS SEGÚN LOS CRITERIOS MENCIONADOS (Tomado de Perales, 2000).

En ambos casos, resulta interesante destacar la inclusión en la clasificación de los procedimientos de resolución.

En cuanto a la solución de los problemas, se abre un abanico de posibilidades que va desde los problemas cerrados o ejercicios "puzles" (Garrett, 1987), donde es básica la memoria o la reproducción de algoritmos aprendidos por repetición (propios de modelos tradicionales de enseñanza o por transmisión), a los abiertos en los que se deben desarrollar estrategias más creativas para su resolución (Garrett, 1987 y 1988). De hecho, los problemas cerrados se podrían considerar como ejercicios y no como auténticos problemas ya que se conoce de antemano tanto la solución como el procedimiento de resolución a seguir. En esa línea, Selveratnam y Frazer (1982) contemplan los problemas artificiales (con una o varias soluciones) y los problemas reales o verdaderos (donde la solución no es evidente y su resolución requiere estrategias y comportamientos adicionales). Así, los problemas cerrados que aparecen habitualmente en los libros de texto no serían problemas reales pues tienen definidos un principio y un fin.

La resolución de problemas es consustancial con las ciencias, pero no así la forma en que tradicionalmente se ha enseñado, y que se basa en procedimientos para resolver problemas cuantitativos. Ello ha resultado un fracaso por la escasa generalización de los procedimientos adquiridos a nuevos contextos, el escaso control metacognitivo alcanzado por los alumnos sobre sus propios procesos de solución y, el escaso interés que estos problemas despiertan en los alumnos (Pozo & Crespo, 2001). Esto puede evitarse abordando verdaderos problemas y poniendo en marcha habilidades indagativas para resolverlos.

Efectivamente, la adquisición de destrezas y habilidades en las experiencias indagativas pueden proporcionar valiosas oportunidades para que los estudiantes mejoren su comprensión de los contenidos científicos y de los procedimientos (Edelson et al., 1999). En concreto, se pueden utilizar los problemas para aprender ciencia, pero quizá no de la forma que tradicionalmente se han presentado, sino como una forma de alcanzar el conocimiento a través de la propia resolución, a la vez que los estudiantes son capaces de controlar su propio aprendizaje.

La resolución de problemas se convierte pues en una base metodológica para la enseñanza y el aprendizaje por indagación. Así, se puede hablar de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y enseñanza basada en problemas (EBP) y, de forma conjunta se habla de EABP (en inglés PBTL, problem-based teaching and learning).

La enseñanza y aprendizaje basado en problemas, EABP, surge a principios de los años cincuenta del siglo XX como un método alternativo en la preparación de los estudiantes de medicina mediante supuestos clínicos. (Barrows,1980). El éxito alcanzado en la medicina lleva al desarrollo de planes de estudio basado en problemas en muchas universidades de Canadá, Estados Unidos y Australia en los años setenta. En los años noventa se introduce de manera oficial en el currículo de Estados Unidos para la educación del K-12 y se implementa en otras partes del mundo y en concreto en Europa en estudios de medicina en universidades de Holanda, Alemania o Inglaterra. Es precisamente en los años noventa cuando se extrapola este método didáctico a otros estudios (ingeniería, arquitectura, administración de empresas, escuelas de derecho, magisterio, enfermería, etc.) y a comienzos del siglo XXI ya se realizan en un amplio rango de disciplinas que incluyen a la Física, Biología y Química.

La resolución de problemas como metodología instruccional se enmarca dentro del constructivismo didáctico (Hung, Jonassen & Liu, 2008). A pesar de la diversidad de formas posibles de aplicar la EBP o incluso de definir este método, Pease & Kuhn (2011) recogen lo que se puede considerar como acuerdos generales para su caracterización básica y definen la EBP como la contextualización de los aprendizajes en un problema que se presenta a los estudiantes sin ningún estudio previo en el tema. El problema no se puede resolver con una fórmula o dar una respuesta correcta y debe referirse a una situación de la vida real. El problema es el estímulo y el contexto para el aprendizaje y se resuelve, por lo general, en pequeños grupos donde los alumnos contemplan el problema e identifican lo que necesitan aprender para lograr una solución y trabajar hacia esa meta.

Al igual que se señaló en el apartado anterior para la indagación en general, el proceso de enseñanza y aprendizaje basado en problemas se puede abordar desde ambas posiciones para un mejor análisis.

Desde el punto de vista de la enseñanza, del profesor:

- El proceso se centra en el alumno (Barrows, 1996 en Dochy, Segers, Van der Bossche & Gijbels, 2003).

- El profesor es un facilitador o guía del proceso de aprendizaje en lugar de proporcionar los conocimientos (Hmelo-Silver, 2004; Hung et al., 2008; Martínez- Aznar & Bárcena, 2013).
- El proceso de resolución se lleva a cabo en pequeños grupos bajo la supervisión del profesor que estimula el trabajo cooperativo para favorecer el aprendizaje (Barrows, 1996 en Dochy et al., 2003; Romero-Álvarez, Rodríguez-Castillo & Gómez-Pérez, 2008).
- El profesor participa como guía en el proceso de discusión del grupo, promueve el desarrollo del pensamiento crítico, habilidades para la resolución de problemas y, actitudes para la colaboración. (Romero-Álvarez et al., 2008).
- La secuencia de aprendizaje se inicia con el planteamiento de un problema verdadero (del que no sabe a priori su solución), sin proporcionar ninguna explicación, preparación o estudio previos (Barrows, 1996 en Dochy et al., 2003).
- Los problemas seleccionados son utilizados como una herramienta para lograr tanto el conocimiento requerido como las habilidades de resolución de problemas necesarias para eventualmente resolverlos (Barrows, 1996 en Dochy et al., 2003).
- Los contenidos y capacidades se organizan alrededor de los problemas (Hung et al., 2008).
- El cambio conceptual es un objetivo del proceso y para ello es necesario conocer las ideas o concepciones alternativas de las que parte el alumno (Hung et al., 2008).
- Es muy importante la contextualización tanto de los problemas como de los materiales (Hung et al., 2008) y así proporcionar oportunidades para la motivación del alumnado (Jones, Epler, Mokri, Bryant & Paretti, 2013; Hmelo-Silver, 2004) e incidir en el mejor aprendizaje (Pease & Kuhn, 2011).
- El profesor procura que los alumnos disfruten el aprendizaje estimulando su creatividad y responsabilidad en la solución de los problemas reales (Romero-Álvarez et al., 2008).
- Promueve que los estudiantes apliquen los aprendizajes obtenidos para la resolución de problemas en otros ámbitos (Romero-Álvarez et al., 2008).

Desde el punto de vista del estudiante, el otro componente del proceso de enseñanza-aprendizaje:

- Es el centro y protagonista del aprendizaje (Barrows, 1996 en Dochy et al., 2003).
- Identifica situaciones problemáticas, formula hipótesis, busca información, realiza experimentos y busca la mejor manera de resolver el problema (Romero-Álvarez et al., 2008) y concluye lo que necesitan saber para comprender mejor las dimensiones del problema (Hung et al., 2008).
- Suele estar motivado por este tipo de planteamientos (Letina & Dikovic, 2013) lo que le da sentido y relevancia al aprendizaje de esa disciplina (Dabbagh & Williams, 2011).
- La nueva información se adquiere a través del aprendizaje autodirigido (Barrows, 1996 en Dochy et al., 2003) y es el propio alumno el que desarrolla la responsabilidad hacia dicho aprendizaje (Letina & Dikovic, 2013).
- Aprende analizando y resolviendo problemas representativos (Dochy et al., 2003) y contextualizados (Hung et al., 2008).
- Construye su propio conocimiento de forma individual y también por interacción con los otros, por lo que es muy importante el trabajo en grupos cooperativos (Hung et al., 2008; Romero-Álvarez et al., 2008) que permite el desarrollo de destrezas de colaboración efectiva (Hmelo-Silver, 2004).
- Valora y accede a su propio material de aprendizaje (Hung et al., 2008).
- Realiza un diálogo auténtico en su interacción social, no limitándose a presentar sus ideas sino enfrentándolas con las de los otros y reelaborándolas (Pease & Kuhn, 2011).
- Construye un conocimiento flexible (Hmelo-Silver, 2004) de forma activa (Romero-Álvarez et al., 2008).
- Desarrolla estrategias metacognitivas en el proceso de aprendizaje (Hung et al., 2008; Pease & Kuhn, 2011, Turns, Cuddihy & Guan., 2010).
- Adquiere habilidades y competencias integrales que puede trasladar a situaciones de la vida cotidiana (Letina & Dikovic, 2013) y a otras áreas (Romero-Álvarez et al., 2008).
- Desarrolla destrezas generales de resolución de problemas y de aprendizaje autodirigido (Hmelo-Silver, 2004), además de un pensamiento crítico y actitudes para la colaboración (Romero-Álvarez et al., 2008).

En palabras de Hung et al., (2008), la EABP es la metodología de enseñanza-aprendizaje más innovadora hasta el momento pues su eficacia se basa en facilitar a los alumnos estrategias de resolución de problemas y de aprendizaje autodirigido:

“El aprendizaje basado en problemas (PBL) es quizá el método pedagógico más innovador jamás implementado en educación” (Hung et al., 2008, p.486).

Si se asume que en la vida y, en la ciencia se aprende a resolver problemas se debe extrapolar esta idea a la educación y aceptar que la resolución de situaciones problemáticas llevará al aprendizaje escolar.

Una vez caracterizados los métodos y el papel tanto del alumno como del profesor en la EABP, se analiza a continuación algunas ventajas e inconvenientes de su implementación.

Del análisis de la bibliografía se puede decir que la efectividad de esta metodología parece estar contrastada (Pease & Kuhn, 2011, Hmelo-Silver et al., 2007). En un metanálisis de la eficacia del aprendizaje basado en problemas publicado por Dochy et al. (2003), se concluye que los estudiantes pueden adquirir más conocimientos a corto plazo cuando se les enseña de forma convencional, pero lo retienen mejor cuando lo construyen resolviendo un problema verdadero. El éxito de esta metodología para Hung et al. (2008) reside en que los problemas de contexto abierto planteados hacen que los alumnos realicen procesos de aprendizaje en situaciones de la vida real. Precisamente esa contextualización hace que se produzca una elaboración más profunda de los conceptos y sean más fácilmente recuperables (Pease & Kuhn, 2011).

Prince (2004), concluye que el ABP mejora el desarrollo de las competencias de los estudiantes, la retención del conocimiento y la habilidad para aplicar el material aprendido, pero no puede concluir que tenga un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento académico en relación a los resultados de los exámenes académicos (Prince 2004 en Prince & Felder 2009), aunque si les capacita para resolverlos de forma efectiva. Así, Hmelo-Silver et al., (2007), afirman que estos métodos son efectivos en el aprendizaje de conceptos y su aplicación en test tradicionales y además promueven el desarrollo de habilidades de razonamiento, resolución de problemas y aprendizaje autodirigido y los prepara para el futuro aprendizaje (Hmelo-Silver et al., 2007).

Prince y Felder (2006) citan diversos estudios que demuestran un efecto positivo del ABP en el desarrollo de una variedad de habilidades de resolución de problemas, comprensión conceptual, capacidad de aplicar estrategias metacognitivas y de razonamiento, habilidades de trabajo en equipo, e incluso para mejorar la asistencia a clase (en Prince y Felder, 2009).

En cuanto a la interacción que se produce en el grupo cooperativo, Pease y Kuhn (2011) aseguran que hay dos los elementos clave en la efectividad de esta metodología: la participación, que hace que la carga cognitiva se distribuya al compartir tanto el trabajo como la información, y la interacción social, que hace que los alumnos se enfrenten a sus ideas y a las de otros, generándose y revisándose las nuevas ideas.

Otro aspecto que favorece la metacognición es el pensamiento reflexivo sobre todo el proceso que realizan al elaborar los informes finales, pues analizan su propio conocimiento y reflexionan sobre lo que es importante destacar del proceso (Turns et al., 2010).

Letina y Dikovic (2013), aseguran que el APB es uno de los más poderosos e innovadores entornos de aprendizaje en la actualidad y que es capaz de producir aprendizajes eficaces y permanentes así como favorecer el desarrollo de habilidades y competencias integrales en los alumnos y, también, prepararlos para participar con éxito en diferentes situaciones de la vida (Letina & Dikovic, 2013). Afirman, sin ninguna duda, que la EBP es más efectiva y eficiente que una enseñanza tradicional y, recomiendan que se prepare a futuros profesores para que tengan la capacidad de implementar programas basados en la resolución de problemas y tener la competencia necesaria para preparar los materiales.

Pero la EBP además de ventajas también tiene inconvenientes. Prince & Felder (2009) aseguran que, de todos los métodos de enseñanza inductivos, es el método más difícil de poner en práctica. En lo que se refiere al profesor, lleva mucho tiempo construir auténticos problemas abiertos cuya solución requiera de todo el rango de competencias especificadas en los objetivos de aprendizaje. Además, su desarrollo en el aula consume mucho tiempo de la clase en sí (Letina & Dikovic, 2013).

Por parte del alumno, el ABP es uno de los métodos indagativos que presenta más resistencia por parte del alumno. Generalmente, se debe al elevado tiempo que lleva la elaboración de informes (Turns et al., 2010, Letina & Dikovic, 2013). También se debe a que a veces los estudiantes no están en la mejor posición para discriminar y determinar la importancia de un recurso o material (Letina & Dikovic, 2013) y a veces se encuentran perdidos en la definición del problema. Incluso, en el momento inicial de enfrentarse al problema las dificultades se pueden traducir en ansiedad y frustración debido a la desorientación o confusión (Dabbagh & Williams, 2010).

Como se puede deducir, al igual que la indagación tenía múltiples posibilidades de aplicación en el aula, las formas de implementar una metodologías indagativas de resolución de problemas, son también muy variadas. En la presente investigación se adopta, la Metodología de Resolución de Problemas por Investigación (MRPI) basada en la resolución de situaciones problemáticas abiertas, que se explica más detenidamente en el apartado siguiente.

1.5. METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS POR INVESTIGACIÓN: MRPI

La resolución de problemas constituye una de las actividades más frecuentes en los contextos educativos científicos, y en concreto en la enseñanza de la química. Por tanto es una de las armas a tener en cuenta a la hora de diseñar estrategias cuya meta sea lograr cambios conceptuales en los alumnos dentro del marco de la enseñanza de las ciencias (Martínez-Aznar & Varela, 1996).

A comienzo de los años ochenta investigadores de la universidad de Valencia, preocupados por el fracaso en la resolución de problemas en las clases de física y química, proponen un modelo de resolución de problemas para el campo de la física basándose en la idea de que los científicos enfrentan los problemas como investigadores. En su propuesta inicial, Gil y Martínez-Torregrosa (1983), señalan unos fundamentos del modelo entre los que cabe destacar:

- El rechazo del método científico como conjunto de reglas aplicables mecánicamente.
- Los problemas científicos son situaciones problemáticas que el científico debe definir y acotar.
- Los razonamientos de los científicos al resolver problemas se dan en términos de hipótesis no de certezas.
- Los científicos no parten de datos sino que los buscan desde las hipótesis y estrategias.
- En el trabajo científico se comprueban resultados obtenidos, se hacen revisiones sistemáticas del proceso de resolución y se comprueba la coherencia de los resultados con las hipótesis hechas.
- El desarrollo científico tiene un carácter social y colectivo.

Para los autores el tipo de problemas y las estrategias de resolución deben partir de unas premisas:

- Los problemas propuestos deben ser de enunciado abierto, sin datos, para que los alumnos acoten el problema y se favorezca el análisis cualitativo del mismo.
- Los problemas deben fomentar la creatividad del alumno.

- El aprendizaje debe concebirse como un cambio conceptual y metodológico.
- La formulación de hipótesis es fundamental en el proceso de investigación.
- El trabajo de resolución de problemas debe ser un trabajo en grupo, de equipo de investigación donde la comunicación y la verbalización de las hipótesis y de los resultados tenga una gran importancia.

Así, este modelo investigativo de resolución de problemas propone seguir una serie de pasos descritos en el cuadro 1.5.

I. Comenzar por un **estudio cualitativo de la situación**, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes.

II. **Emitir hipótesis** fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límites de fácil interpretación.

III. **Elaborar y explicar posibles estrategias de resolución** antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar el contraste de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

IV. Realizar la **resolución** verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más operativismos carentes de significación física.

V. **Analizar cuidadosamente los resultados** a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados.

CUADRO 1.5. MODELO INVESTIGATIVO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (GIL Y MARTÍNEZ-TORREGROSA, 1983).

Con el paso del tiempo y desarrollo de investigaciones, este método ha sufrido algunas variaciones. Por ejemplo Ramírez, Gil y Martínez-Torregrosa (1994), añaden un paso previo a éstos y dos posteriores, quedando su propuesta así como muestra el cuadro 1.6.

a) Considerar cuál puede ser el **interés de la situación problemática** abordada

b) Comenzar por un **estudio cualitativo de la situación**, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes, etc.

c) **Emitir hipótesis** fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límites de fácil interpretación física.

d) **Elaborar y explicar posibles estrategias** de resolución antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar la contrastación de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.

e) Realizar la **resolución** verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más operativismos carentes de significación física.

f) **Analizar cuidadosamente los resultados** a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados.

g) Considerar las **perspectivas abiertas** tras la resolución de este problema contemplando, por ejemplo, la conveniencia de abordar la situación a un nivel de mayor complejidad o estudiando implicaciones teóricas (profundización en la comprensión de algún concepto) o prácticas (posibilidad de aplicaciones técnicas). Concebir, muy en particular, nuevas situaciones a investigar, sugeridas por el estudio realizado.

h) Elaborar una **memoria** que explique el proceso de resolución y destaque los aspectos de mayor interés en el tratamiento de la situación considerada. Incluir en particular, una reflexión global sobre lo que el trabajo realizado puede haber aportado, desde el punto de vista metodológico u otro.

CUADRO 1.6. MODELO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN (RAMÍREZ ET AL., 1994).

Estas modificaciones revelan que las etapas de la MRPI no se deben entender como un conjunto de bloques cerrados e inflexibles, son más bien una secuencia orientativa de las posibilidades que se dan en el desarrollo de los procesos de resolución, siendo clave la continua revisión y replanteamiento de cada fase.

Así, el modelo puede ser representado de forma compleja como muestra Furió, Iturbe y Reyes (1994) en el esquema de la figura 1.3.

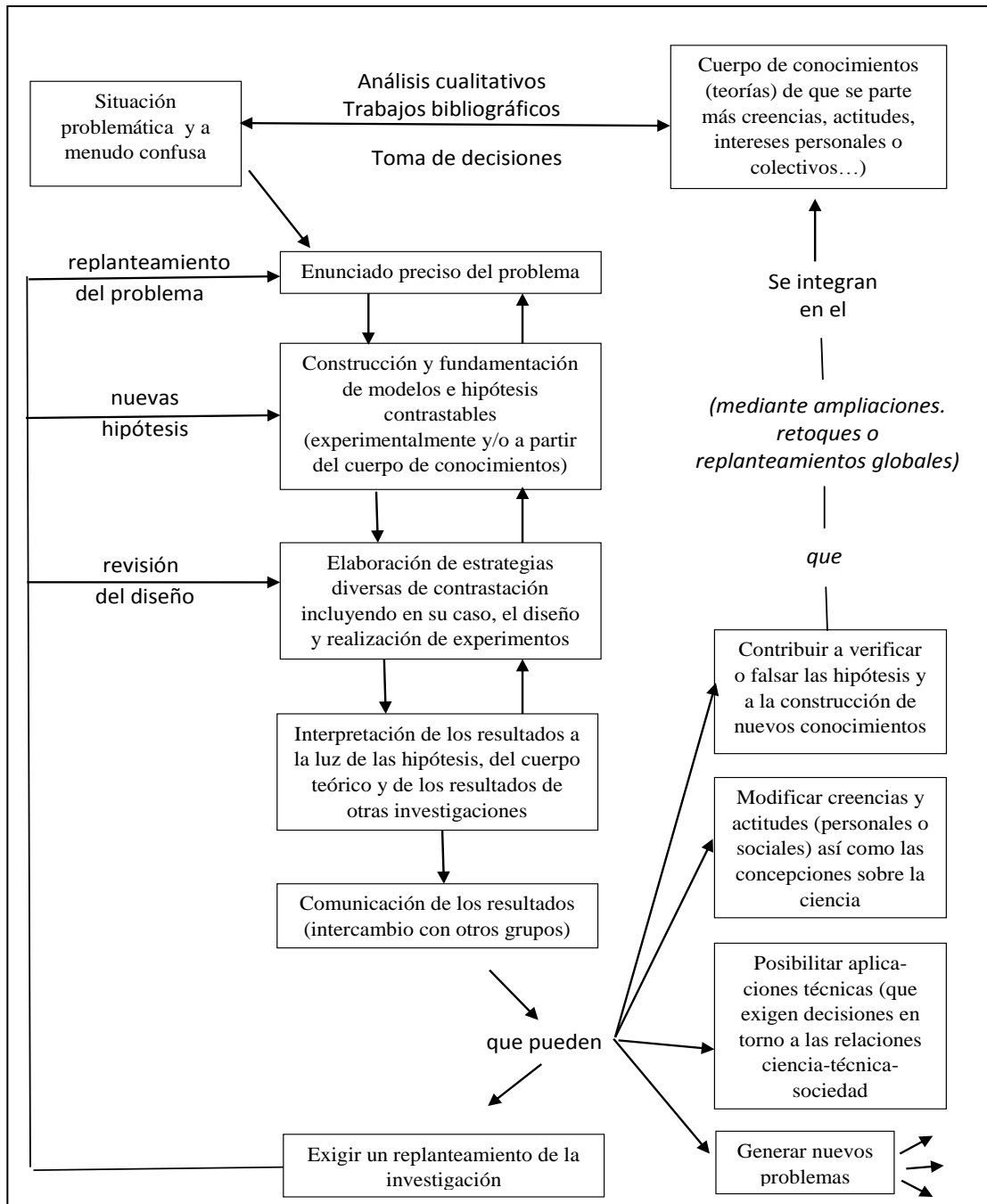


FIGURA 1.3. DIAGRAMA DE UN CICLO DE INVESTIGACIÓN. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN PROCESO COLECTIVO EXTRAORDINARIAMENTE COMPLEJO (FURIÓ ET AL., 1994, P. 91).

Este modelo ha sido validado por diversos estudios (Gil & Carrascosa, 1985; Gil & Martínez Torregrosa, 1984, 1986, 1987; Martínez Aznar & Varela,

1996; Martínez Aznar et al. 2001; Varela & Martínez Aznar, 1997, 1998), y tesis doctorales en el ámbito de la enseñanza de la Física, la Química y la Biología (Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Reyes, 1991; Varela, 1994; Ibáñez, 2003).

En la Universidad Complutense de Madrid, el equipo de investigación dirigido por la Dra. María Mercedes Martínez Aznar lleva más de dos décadas investigando con esta metodología con valiosos resultados. Se han realizado diversos estudios, centrados por un lado en el cambio conceptual y por otro en las relaciones CTSA, en diversos campos como la Física o la Biología y con muestras de naturaleza muy diversa como son alumnos de primaria, secundaria obligatoria, bachillerato, e incluso en el ámbito de la formación inicial del profesorado (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005a, 2005b, 2007; Martínez-Aznar, 2006, Martínez-Aznar & Ibáñez 2005, 2006; Martínez-Aznar & Varela, 1996, 1997, 2002, 2009; Varela & Martínez-Aznar, 1997a, 1997b, 1998).

Para la intervención en el aula este grupo utiliza unas plantillas adaptadas a cada investigación y nivel educativo, como la que se muestra en el cuadro 1.7, para una investigación en el campo de la genética para alumnos de cuarto de secundaria.

PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.....

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1. Análisis cualitativo del problema

Representación y comprensión de la situación

Restricción de condiciones

2. Emisión de hipótesis

Emisión de hipótesis acerca de los factores que pueden determinar la magnitud buscada

Estudio de casos límite de fácil interpretación

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3. Elaboración de estrategias

Análisis del problema por partes o resolución de casos más simples

Establecimiento de analogías con situaciones tratadas anteriormente

Indicación del marco teórico de referencia

Determinación de los datos necesarios para la solución del problema

Estudio del problema usando tablas, gráficos, porcentajes, etc.

4. Resolución del problema

Hacer en primer lugar una resolución algebraica

Verbalización el proceso de resolución

Aplicación a un caso concreto con datos numéricos preferentemente sacados de un caso real

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

5. Análisis de los resultados

Interpretación del resultado a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado

Comprobación de los casos límites

CUADRO 1.7. PLANTILLA UTILIZADA EN EL AULA PARA LA MRPI EN UNA INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LA GENÉTICA PARA 4º DE LA ESO (IBÁÑEZ, 2003).

La flexibilidad de su aplicación es tal que incluso se ha utilizado para alumnos con problemas de aprendizaje, como es el caso de los alumnos del programa de diversificación curricular, donde se recurre a preguntas sencillas como muestra la adaptación realizada, por la presente investigadora, y que se muestra en el cuadro 1.8.

METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO INVESTIGACIÓN

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROBLEMA

¿Qué puedo decir?

Analiza todos los aspectos que aparecen en la situación planteada tanto en lo referente a sustancias, hechos, acciones, etc. e indica aspectos teóricos a tener presentes y restricciones.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

¿Qué va a suceder?

Propón una hipótesis de trabajo que relacione los factores (variables) implicados.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS: (TEÓRICA O DE LABORATORIO)

“Voy a....”

Explica de forma resumida los pasos a seguir para encontrar la solución del problema, marco teórico que voy a emplear, variables que necesito conocer para solucionar el problema, material necesario en el caso experimental, etc.

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué pasos hay que seguir?

Escribe los pasos detallados de la resolución (teórica, sin datos numéricos) del problema según nuestra hipótesis y estrategia propuestas.

1.-

2.-.....

5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

¿Es lo que esperabas?

Observa si lo propuesto se corresponde con la hipótesis (unidades, magnitudes, etc.) y comprueba con un ejemplo o práctica de laboratorio si es así.

CUADRO 1.8. PLANTILLA UTILIZADA EN EL AULA PARA LA MRPI EN UNA INVESTIGACIÓN EN EL CAMPO DE LA QUÍMICA PARA 3º Y 4º DE LA ESO DEL PROGRAMA DE DIVERSIFICACIÓN (MARTÍNEZ-AZNAR & BÁRCENA, 2013).

Además, este equipo ha trabajado con la MRPI en Educación Primaria (Dopazo, 2004). En el cuadro 1.9 se muestra la adaptación para este nivel.

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROBLEMA

- ¿A qué me enfrento? leer bien el problema, entender bien el lenguaje, la situación y la cuestión.
- ¿Cómo veo la situación que plantea el problema? ¿Puedo representarla de alguna manera? Imaginar, dibujar, manipular,...
- Revisar lo que sepamos sobre el tema. Consultar documentación, intercambiar ideas.
- ¿Hay algunas condiciones en que no pueda resolverlo? No porque crea que no se sino porque no tiene solución.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

- ¿Qué factores (cualidades elementos, medidas,...) influyen en el problema? ¿cómo pueden variar esos factores?
- ¿Qué posibles soluciones finales puede tener el problema?
- Casos en la o las soluciones sean algo especiales.

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA

- Dividir el problema en partes o resolver casos parecidos y más sencillos.
- Recordar situaciones parecidas vistas anteriormente.
- Ver los datos que tenemos y si nos sobran o faltan.
- ¿Puedo hacer un dibujo o esquema?
- ¿Se me ocurre más de una manera para intentar resolverlo?

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

- Intentar una primera resolución de forma general, sin cantidades.
- Escribir todo lo que voy haciendo, como si pensara en voz alta.
- Haz ahora un ejemplo con números (a ver si te da lo que has pensado que tendría que salir)

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- ¿Se cumplen las hipótesis que me planteaba al principio?
- ¿Me sirve lo que yo ya sabía antes? ¿Sigue cumpliéndose?
- ¿Y en los casos en que las soluciones eran algo especiales, se cumple lo que yo había previsto?
- ¿Tiene lógica lo que me ha salido?

CUADRO 1.9. PLANTILLA UTILIZADA EN EL AULA PARA LA MRPI EN UNA INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN PRIMARIA (DOPAZO, 2004).

Es interesante remarcar que esta metodología cuenta con la opinión favorable del profesorado que la ha utilizado y que recomiendan al resto de los docentes:

“Puede considerarse de acuerdo con lo concluido que el modelo de resolución de problemas con actividad de investigación, en su encaje dentro del paradigma constructivista de enseñanza/aprendizaje constituye una herramienta eficaz para la consecución de los cambios metodológico y actitudinal, necesario para producir el cambio conceptual de los estudiantes y de los profesores” (Reyes, 1991, p. 332).

“...La MRPI se manifiesta como una metodología potente a la hora de conseguir aprendizajes tan destacados en la enseñanza, que sin duda se ven reforzados por el trabajo en grupos cooperativos. Por ello consideramos oportuno aplicarlo en todas las ciencias...” (Ibáñez, 2003, p. 520)

En este punto, es necesario para esta investigación detenerse en ciertos aspectos del marco teórico de la MRPI, por lo que a continuación se describen con cierto detalle sus fases y características.

1.5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES

La MRPI es una metodología abierta no solo en el planeamiento de los problemas sino en la naturaleza misma del proceso. Todas y cada de las producciones realizadas en cada paso o fases de la MRPI pueden suponer la revisión de los planteamientos previos. Además, la construcción de un nuevo conocimiento supone un punto de partida para la formulación de nuevos problemas y retos. Así, el proceso no tiene porqué concluir en el análisis de resultados sino que puede dar lugar a nuevas posibilidades o incluso obligar al estudiante a replantearse de nuevo las hipótesis, estrategias o resolución, ante la insatisfacción con los resultados obtenidos. Así, en todos los pasos de la resolución existe la posibilidad de un replanteamiento del proceso, de forma cíclica, como puede observarse en el esquema de la figura 1.4.



FIGURA 1.4. CONCEPCIÓN DE LA MRPI COMO UN PROCESO CÍCLICO (MARTÍNEZ-AZNAR & BÁRCENA, 2013).

1. Análisis cualitativo de las situaciones problemáticas

Existe un amplio consenso, entre los expertos en el tema, a la hora de reconocer que la resolución de cualquier problema comienza por una aproximación cualitativa a la situación (Martínez-Aznar & Varela, 2009).

Precisamente, esa es una de las grandes diferencias con los planteamientos tradicionales para la resolución de problemas (ejercicios) en los que se aprende a reproducir y cuyo fin es llegar a una solución numérica correcta para tener éxito en los exámenes. En el planteamiento de problemas como investigaciones la búsqueda de la solución fomenta el aprendizaje de aspectos clave de la metodología científica (Reyes, 1991).

Este autor concluye que más de la mitad de los profesores en activo considera que el fracaso en la resolución de problemas se debe a la “lectura no comprensiva del problema”, “deficiente bagaje teórico” y “deficiente manejo del aparato matemático”. Además, en su estudio destaca como en la práctica habitual de resolución de los profesores, al igual que en los libros, nunca se trabajan con hipótesis y rara vez se explican estrategias de resolución o se contrastan resultados (Reyes, 1991).

Los problemas abiertos fomentan en los estudiantes comportamientos de expertos (Ramírez et al., 1994) pues, al prescindir de los datos, se les obliga a imaginar necesariamente la situación, a explicitar qué es lo que se trata de averiguar. De hecho, el asumir el papel de experto en la resolución es uno de los motivos del cambio de actitud hacia la participación en el proceso de aprendizaje (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013). Además, se fomentan aspectos relacionados con la creatividad pues la propuesta inicial puede derivar en múltiples posibilidades según la particularidad e intereses de los alumnos (Garrett, 1988).

En esta fase, implica una activación de los conocimientos que posee el alumno, además de suponer un esfuerzo por seleccionar aquellos que sean adecuados para la situación concreta planteada. El profesor debe intentar deducir el marco teórico que pueden poner en juego así como las concepciones alternativas en relación a los conceptos implicados, para así guiar adecuadamente la indagación de los nuevos conceptos. Además, los alumnos deben especificar las restricciones que se van a introducir para hacer viable la resolución.

2. El planteamiento de hipótesis

A partir del análisis cualitativo realizado, los alumnos deben plantear conjeturas sobre lo que puede pasar y analizar las variables que entran en juego, para establecer una posible hipótesis de trabajo formulada en términos científicos.

El consenso general de los epistemólogos es que la emisión de hipótesis tiene un papel central en el tratamiento de los verdaderos problemas y acerca al alumno al trabajo científico (Martínez-Aznar & Varela, 1990). De hecho, la falsación de la hipótesis es lo que se convierte en un conflicto cognitivo y por tanto en una herramienta de cambio conceptual (Gil et al., 1988).

La emisión de hipótesis permite un cambio conceptual progresivo, pues de su contrastación aparecerá la contradicción o la reafirmación de ésta.

“Establecer conjeturas razonadamente acerca de la dependencia de magnitudes implicadas en el problema obliga a utilizar comprensivamente los conceptos adquiridos [...]

Los estudiantes resuelven siguiendo una representación del problema establecida a partir de datos superficiales del enunciado, más que a partir de una evocación de principios físicos o químicos [...] La formulación de hipótesis obliga a justificar las conjeturas realizadas a partir de los conocimientos científicos lo que impide esta conducta" (Reyes, 1991, pp.73 -74).

Investigaciones dentro del ámbito de la física (Varela, 1994) señalan que la elaboración de hipótesis es la parte que más les cuesta a los alumnos, pero esto no sucede en Biología (Ibáñez, 2003), lo que implica la importancia de la cercanía de los contenidos a la hora de emitir conjeturas sobre una situación.

Es el momento en que los alumnos reflexionan acerca de las magnitudes implicadas en el problema. Es la ausencia de datos en este tipo de planteamiento de problemas la que obliga a los alumnos a pensar en términos de explicaciones provisionales, que deben comprobar y el planteamiento de hipótesis es el punto de partida que orienta la resolución. Precisamente, las hipótesis emitidas determinan los datos necesarios para la resolución del problema, en contra del procedimiento habitual de los problemas cerrados o ejercicios (Martínez-Aznar & Varela, 2009).

3. Elaboración de estrategias de resolución

Los estudiantes deben pensar en distintas estrategias de resolución y elegir la más adecuada que les permita la resolución del problema y la contrastación de la hipótesis planteada. Hay que tener en cuenta las estrategias de resolución que surgen del trabajo en las dos fases anteriores: el análisis cualitativo del problema y de las hipótesis que ya se han emitido previamente.

Al solicitarse expresamente una planificación previa de las estrategias a seguir se evita que los alumnos realicen actividades próximas al simple "ensayo y error" (Ramírez et al., 1994). Entre otras actuaciones el alumno identifica las variables decidiendo cuales debe controlar. Se detallan las actuaciones a seguir como una guía o plan de trabajo indicando el procedimiento a seguir y los materiales necesarios para llevarlo a cabo (Gil, Carrascosa, Furió & Martínez-Torregrosa, 1991).

Las estrategias de resolución en las situaciones problemáticas de lápiz y papel son el equivalente a los diseños experimentales en los problemas

que exigen un contraste práctico en el laboratorio (Martínez-Aznar & Varela, 2009).

A priori, la propuesta de una estrategia de resolución no es el paso que más dificultades le supone al alumno, pues casi siempre son capaces de proponer alguna (Ibáñez 2003, Varela 1004), pero muchas veces no son las adecuadas pues no concuerdan con la hipótesis propuesta o con la resolución que a continuación proponen (Ramírez et al., 1994), es decir, no siempre existe coherencia interna en su planteamiento.

Si aparentemente esta fase es la más intuitiva, realmente para Ramírez et col. (1994), es donde el cuerpo de conocimientos del alumno juega un papel más evidente. Así, un buen cuerpo de conocimientos, junto con la imaginación y el planteamiento coherente de la hipótesis puede proporcionar una estrategia de resolución.

4. Resolución del problema

En este paso el estudiante debe plantear relaciones entre las magnitudes con ecuaciones si es posible. Aunque es una tarea difícil para el alumno (Martínez-Aznar & Ovejero, 1997; Varela, 1992) la abstracción requerida al utilizar únicamente letras antes que números ayuda a la formalización mental del alumno en términos piagetianos (Reyes, 1991).

La resolución parte de las estrategias planteadas, llevando a cabo lo ya explicitado en esa fase. Ambas se complementan y, si se desarrolla adecuadamente, se evitan operativismos carentes de significación física. Pero el seguir una estrategia no es imponer un camino único ya que al ser todo el proceso cíclico, en cualquier momento, se puede volver atrás a replantear la hipótesis o la estrategia según se mostró en el diagrama de la figura 1.4.

"Cuando la tarea es un verdadero problema, las dificultades y las revisiones son inevitables y ello se ve facilitado, sin duda, por una resolución literal en la que los factores considerados como pertinentes aparecen explícitamente y se pueden reconocer los principios aplicados, lo que no ocurre obviamente, en el caso de una resolución numérica" (Ramírez, 1994, p. 35)

5. Análisis y comunicación de resultados

El análisis de los resultados es uno de los pasos fundamentales, pues supone la contrastación de las hipótesis emitidas y del cuerpo del conocimiento. De hecho su análisis puede dar lugar a nuevos problemas o replanteamientos de la situación.

Sin embargo, los alumnos no están acostumbrados a ser críticos con lo que se les enseña, o con ellos mismos, y sus análisis son superficiales (Reif & Larkin, 1991). Tanto en los estudios de Física (Varela, 1994) como en los de Biología (Ibáñez, 2003) esta variable presenta muchas dificultades a los alumnos.

En este punto es el momento no sólo de comprobar si la hipótesis es correcta, sino de contrastar el cuerpo de conocimientos puesto en marcha, reflexionar sobre los posibles errores cometidos, la ampliación de algún aspecto como puede ser la inclusión de los conceptos, nuevos o antiguos, surgidos durante el proceso y que no se habían tenido en cuenta en el análisis. Es el momento de reflexionar sobre los contenidos aprendidos y ampliarlos.

Además, como la propuesta de resolución es cíclica, y al igual que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser origen de nuevos problemas, poniendo de nuevo en juego la creatividad (Ramírez et al., 1994). Pueden ser diferentes problemas o simplemente el mismo con otras estrategias de resolución e incluso planteando nuevas hipótesis.

La importancia de la verbalización en todas las fases

Durante todo el proceso, y en todas las fases, es muy importante que los alumnos verbalicen lo más posible. Así se evitan procesos de resolución carentes de significado.

Verbalizar los procedimientos favorece una revisión crítica y continúa del proceso de resolución, pues obliga a explicitar las actuaciones y a explicar los resultados, lo que ayuda a la identificación de los posibles errores cometidos y a reflexionar sobre la nueva resolución, lo que supone el desarrollo de destrezas metacognitivas (Campanario & Otero, 2000; Ibáñez & Martínez, 2005; Zion et al., 2005).

Especialmente en los trabajos de laboratorio se observa que la explicitación de los argumentos al relacionar los datos experimentales y las observaciones con el conocimiento químico que poseen, ayudan a construir una conceptualización más elaborada del concepto en cuestión, a lo que contribuye las discusiones en el grupo durante el trabajo de resolución (Bertelle, Rocha & Domínguez, 2014).

1.5.2. RELACIÓN DE LA MRPI CON PROCESOS DE METACOGNICIÓN

Un aspecto fundamental del aprendizaje con esta metodología está relacionado con la metacognición. El alumno se enfrenta a su propio conocimiento y procesos cognitivos. Así, toma conciencia de los límites de su conocimiento, obligado a analizar y cuestionar lo que sabe, y los procedimientos que domina, para poder resolver la situación planteada. Además, debe elegir entre varias posibilidades de solucionar el problema y decidir entre diferentes alternativas y, además, tiene que identificar y seleccionar la información relevante. Es decir, pone en marcha metaestrategias (Kuhn, 2000).

En esta toma de conciencia y reflexión acerca de su propio aprendizaje aumentan el grado en que pueden transferir sus nuevos conocimientos a los que ya tienen, en consonancia con una enseñanza metacognitiva (Bransford et al., 2000).

Como la reflexión del alumno en las metodologías de ABP es muy importante, el hecho de escribir un informe favorece la metacognición (Turns et al., 2010), pues el alumno analiza su propio conocimiento y reflexiona sobre lo que considera que es importante como para señalarlo en el informe. De igual manera, las discusiones en grupo y las exposiciones orales favorecen por las mismas razones la metacognición.

Como se indicó en el apartado 1.4, el alumno puede revisar en cualquier momento los planteamientos de su resolución, entrando en un proceso cíclico autoregulado por el mismo alumno. Desde la primera fase del proceso hasta la última, diversas habilidades metacognitivas se ponen constantemente en juego y, este hecho, permite que los estudiantes sean conscientes de los aprendizajes obtenidos y de su utilidad. También mejora

su autoestima cuando se enfrentan a la solución de otros problemas en otros ámbitos (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2004)

La MRPI por tanto favorece la metacognición en el proceso de enseñanza-aprendizaje propuesto.

1.5.3. EL CAMBIO CONCEPTUAL Y LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

La MRPI se enmarca dentro de los métodos de aprendizaje de corte constructivista que ponen énfasis en la construcción de conocimientos por parte del estudiante y en la relación entre esa adquisición y el desarrollo histórico de los contenidos (Rutherford, 1964).

Aprender y construir conocimiento requiere un cambio conceptual, su reorganización estructural. La idea del cambio conceptual parte de la Filosofía y la historia de la Ciencia con Kuhn y su libro “estructura de las revoluciones científicas” que luego Posner aplica a la enseñanza de las ciencias (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Pero no es fácil asimilar un cambio de un paradigma científico con el cambio conceptual que debe hacer un alumno. Hay que distinguir entre el científico y el estudiante, pues éste no entiende que sus creencias son hipótesis y por tanto contrastables y falsables (Vosniadiu, 2008).

Además, el proceso que lleva al cambio conceptual no es tan rápido como Posner et al. (1982) proponen. En algunos casos se convierte en un proceso complejo. La comprensión de un concepto puede llevar a tener que cambiar muchos otros que ya se habían aprendido. Un cambio conceptual no consiste en una reestructuración radical sino en pequeños cambios de distintos elementos a distintos niveles (diSessa & Sherin, 1998). Partiendo de esta idea Wisser y Smith (2008) afirman que, al igual que cuando cambia una teoría científica no solo cambia un concepto sino las relaciones con otros y aparecen relaciones nuevas, el cambio conceptual de los alumnos implica una reorganización de elementos subconceptuales y un progresivo cambio en las prioridades clave que el currículo debe sustentar (Wisser & Smith 2008, en Vosniadiu, 2008)

Los alumnos no son un folio en blanco. Como afirmaba Ausbel:

"El factor que más influye sobre el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe; determínese qué es y enséñesele en consecuencia" (Ausbel, 1968, p. IV)

El conocimiento de lo que piensan los alumnos es fundamental para favorecer el aprendizaje de las ciencias.

"Si la enseñanza de las ciencias ha de influir en su manera de concebir el mundo a partir de la experiencia que tienen de él, entonces lo que se aprenda en la escuela debe tener relación con esa experiencia previa" (Osborne & Freiberg, 1991, p. 15).

Las concepciones de éstos sobre los fenómenos físico-naturales que les rodean condiciona el aprendizaje de otros conceptos. Estas experiencias cotidianas pueden llevar a ideas previas erróneas. Éstas revelan suposiciones acerca de la naturaleza que guían sus interpretaciones y predicciones así como la generación de explicaciones y la toma de decisiones (Talanquer, 2011).

Las concepciones alternativas son difíciles de erradicar pues son coherentes con la estructura cognitiva del alumno en ese momento. Pero muchas de ellas son muy generales, de carácter universal sin distinción de sexo y estatus sociocultural y coincidentes con los individuos en un rango cercano de edad. Por ello, existe una amplia bibliografía que recoge las investigaciones en este sentido, algunas en forma de recopilaciones de ideas (Driver, 1989; Hierrezuelo & Montero; 1988; Pozo, Gómez, Limón & Sanz., 1991).

En el caso de las reacciones químicas, base de esta investigación, son muchas las concepciones alternativas que tienen los alumnos y se recogen en la bibliografía. De ellas, se han analizado las más generales y relevantes para ésta investigación, organizándolas en bloques de contenidos. Éstos, se tienen en cuenta a lo largo del desarrollo del presente trabajo tanto en el diseño de materiales como en el análisis de los resultados.

- Características de los procesos físicos y químicos
- Conservación de la masa
- Representación y visualización de las sustancias y reacciones químicas
- Estequiometría
- Tipos de reacciones químicas: la combustión

- Energía de las reacciones químicas: Enlace, calor, conservación,...
- Otros conceptos relacionados con las reacciones químicas.

En el Anexo I se recogen de forma resumida algunas de las ideas de los estudiantes que aparecen en la bibliografía acerca de las reacciones químicas, modificadas a partir de una recopilación de la autora para un proyecto del CIDE (Martínez-Aznar et al., 2001).

En este último punto hay que destacar que las actividades realizadas con la MRPI se enmarcan dentro del constructivismo, pues proporcionan un contexto significativo para el aprendizaje y enfrentan al alumno con sus conocimientos previos logrando cambios conceptuales permanentes en el tiempo (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005). Así las actividades de esta naturaleza indagativa ayudan a reconciliar la comprensión personal que los alumnos tienen de los fenómenos con los conceptos curriculares a través del propio proceso científico (Ireland, Watters, Brownlee & Lupton, 2014).

1.5.4. TRABAJO EN GRUPOS COOPERATIVOS

Dentro de la investigación se va a dar mucha importancia al trabajo desarrollado en el aula. El trabajo en grupos cooperativos es, en general, asumido como importante en los procesos indagativos.

"Los profesores eficaces diseñan muchas actividades de aprendizaje en grupo, y no simplemente como un ejercicio, sino como una colaboración esencial para la indagación" (NCR, 1996, p. 50).

El planteamiento de trabajo en grupos cooperativos para la resolución de problemas abiertos supone una concepción del trabajo científico desarrollado de forma similar al que realiza la comunidad científica. Como muestra Hogan (2002), al plantear a un grupo de alumnos un problema medioambiental, la discusión que surge en la toma de decisiones, resulta ser semejante a la que llevarían a cabo un grupo de científicos debatiendo sobre el problema. Esta aproximación grupal a las características de una actividad científica permite lograr aprendizajes significativos y aumentar el interés por la cultura científica. Además, ayuda a superar errores personales y enriquece los planteamientos individuales iniciales (Vilches & Gil, 2011).

La discusión en grupo mejora el trabajo individual y la argumentación (Bertelle et al., 2013; Johnson & Johnson, 2008) y esa oportunidad de mayor

actividad, al aportar ideas, evaluar su conocimiento de un tema y reflexionar sobre él frente al resto, resulta fundamental en la búsqueda de un aprendizaje significativo (Durán-García & Durán-Aponte, 2013).

En el aprendizaje cooperativo los estudiantes trabajan juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los otros miembros del grupo logrando así mejores resultados que el individual (mayor productividad, razonamientos deductivos, generación de nuevas ideas y soluciones, motivación, retención de términos o transferencia de lo aprendido a otras tareas), mayor calidad (en las relaciones entre alumnos, cohesión del grupo, espíritu cooperativo o respeto a diferentes pensamientos) y mayor adaptación psicológica (mayores habilidades sociales, autoestima o como afrontar situaciones adversas) (Johnson & Johnson, 2008). Además resulta motivador y desarrolla actitudes de tolerancia y respeto cuando participamos en la construcción de un conocimiento común (Barbosa, Jofili & Watts, 2004).

En concreto, al resolver los problemas en pequeño grupo, la interacción comunicativa entre profesor y alumno y sobre todo entre alumnos, mejora sus estrategias y habilidades de resolución (Cooper, Cox, Nammoux, Case & Stevens, 2008).

Por tanto, si el conocimiento se adquiere a través de la interacción con otros y a través de instrumentos culturales como el lenguaje, parece importante que, en las actividades planteadas en clase los alumnos verbalicen sus conocimientos, no solo en forma escrita en su trabajo individual en casa, sino de forma oral y dinámica en la clase. La puesta en común de los problemas les obliga a razonar sobre sus propuestas científicas y a tomar decisiones críticas sobre las de otros. En el artículo de Rivard & Straw (2000) que compara el trabajo de unos alumnos con tres métodos diferentes (uno basado en la exposición oral, otro en la escrita y un tercero con ambas), se concluye que aunque cada uno se desarrolla alguna destreza, por ejemplo el oral para clarificar y emitir hipótesis de trabajo, el mejor aprendizaje lo realiza el grupo que trabaja ambos aspectos. Ese hecho apoya la decisión de desarrollar en la presente investigación las actividades en grupos cooperativos que proporcionen oportunidades que permitan desarrollar habilidades de exposición tanto oral como escrita.

Se podría pensar que esta cooperación en grupos está más relacionada con edades más tempranas pero no es así. El trabajo en grupo parece ser efectivo en todas las edades desde la escuela primaria hasta la Universidad. Investigaciones con alumnos de primaria (10 años) demuestran que el trabajo científico propuesto al grupo de forma controlada (observación de la combustión de una vela en un recipiente cerrado o la medición del pH de diferentes disoluciones) mejora la generación de hipótesis, la investigación o experimentación o la interpretación de resultados (Oshima, Murayama, Takenaka & Yamaguchi, 2004). En educación secundaria, Kempa & Ayob (1995) demuestran como alumnos de 15 años “*aprenden de los otros*” cuando trabajan en grupos actividades científicas que requieren una planificación de la investigación. Otros autores observan un aumento de la efectividad y el atractivo de los proyectos si se presentan como trabajo cooperativo, transmitiéndose esa motivación no solo a los estudiantes sino al resto de la comunidad educativa (profesores y padres) (Dory & Tal, 2000). Incluso en niveles superiores como la universidad, el trabajo en grupo puede ser utilizado para desarrollar habilidades de comunicación y ayudar a los estudiantes a realizar la difícil transición entre la escuela y la universidad (Hursthouse, Patrick, Rendall, Roach & Vaughan., 1995).

De hecho se pueden potenciar con el trabajo en grupo el desarrollo de destrezas de pensamiento crítico e independiente, hacia una más profunda comprensión de los conceptos y con una mayor permanencia en el tiempo de éstos (Donmoyer, 1996, en Balfakih, 2003). Es más, parece ser que cuando los alumnos trabajan en grupo pueden solucionar los problemas a niveles cognitivos superiores que si lo hacen de forma individual. Tanto las destrezas de pensamiento como las de procedimientos científicos se mejoran cuando se trabaja el aprendizaje cooperativo (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Kyle, 1984, en Balfakih, 2003).

Por otra parte, el trabajo cooperativo desarrolla habilidades metacognitivas, pues favorece que se genere un conflicto sociocognitivo mediante la confrontación entre iguales que permite que se puedan enfrentar sus puntos de vista, parcialmente divergentes, acerca de la tarea que se les propone y mejorar de esa forma su aprendizaje (Perret-Clemont, 1981, en Ibáñez 2003). En ese sentido, Parra (2009) indica que para la mayoría de los autores que se encuadran en el marco de la psicología del constructivismo, desde Piaget, pasando por Bruner y Vigotski, hasta

Ausubel, Novak y Hanesian, la interacción comunicativa es uno de los medios más importantes para el desarrollo intelectual de los alumnos y para la adquisición significativa del conocimiento. Además, las discusiones con otros ayudan a explicitar y consolidar los aprendizajes de conceptos más significativamente (Bertelle et al., 2013).

1.5.5. CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS

Al comienzo del capítulo se señaló cómo los estudiantes se encuentran más alejados de las asignaturas de ciencias y, en general, no se están motivados hacia su aprendizaje. Pues bien, la propuesta de contextualizar actividades escolares, que le acerquen a una realidad cercana y cotidiana, favorece la motivación.

"Una enseñanza de las ciencias basada en el contexto es la que plantea relacionar la ciencia con la vida cotidiana, actual y futura, de los estudiantes y hacer ver su interés en los ámbitos personal, profesional y social" (Blanco, España & Rodríguez, 2012, p.9).

En ese sentido las aproximaciones curriculares Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) y ahora Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medioambiente (CTSA) han contribuido favorablemente a la mejora del aprendizaje. La alfabetización científica, aproximación CTSA y la educación para la ciudadanía tienen mucho que ver con los materiales diseñados y desarrollados en la presente investigación.

Como sugieren algunos autores, la selección de materiales y la implementación de actividades con estos enfoques permiten a los estudiantes adquirir las habilidades, destrezas, competencias y capacidades científicas, y contribuye a la educación para la ciudadanía en los términos que demanda la sociedad actual (Lupión & Prieto, 2007).

Habitualmente, los alumnos se encuentran en las clases con pocas similitudes entre las tareas de la vida diaria y los problemas científicos y así los alumnos encuentran dificultades en transferir el conocimiento de un dominio a otro (Claxton, 1991 en Gómez, Pozo & Sanz, 1995). Parece que los contenidos de las tareas, cuando los problemas se presentan en un contexto más familiar resultan ser más fáciles de resolver que aquellos presentados en un contexto químico (Gómez et al., 1995). El conocimiento será más fácil de aplicar en un dominio más cercano al que ha sido adquirido. En ese estudio, realizado con alumnos de secundaria de entre 12 y 17 años, se

obtienen resultados claros trabajando con disoluciones o cambios de estado sin embargo las reacciones químicas son difíciles de entender al presentarse en lenguajes y “formatos” químicos.

Así pues, se debe hacer un esfuerzo por acercar la ciencia a la realidad de los alumnos, es decir contextualizarla.

“Por contextualizar la ciencia entendemos relacionarla con la vida cotidiana de los estudiantes y hacer ver su interés para sus futuras vidas en los aspectos personal, profesional y social” (Caamaño, 2011, p. 21).

Este planteamiento es algo diferente al enfoque CTSA pues en vez de partir de los conceptos para interpretar el contexto, en la visión contextualizada se parte del contexto para introducir los conceptos y modelos teóricos.

Para Parchmann (2011), el aprendizaje contextualizado puede considerarse un método exitoso para fomentar los intereses y la comprensión de los estudiantes.

“Un entorno de aprendizaje es contextualizado cuando los estudiantes adquieren conocimientos y competencias sobre la base de su necesidad de conocimientos al tratar un tema relevante cuyo punto de partida está constituido por sus propias preguntas o ideas” (Parchmann, 2011, p.8).

Se han señalado anteriormente los resultados de la prueba PISA 2012 sobre resolución de problemas, pues bien, el informe señala lo importante de la contextualización de los problemas para el futuro de los escolares como ciudadanos resolutivos:

“De manera similar, aquellos países que preparan mejor a los estudiantes para usar su conocimiento en contextos de la vida real son también aquellos cuyos estudiantes están más a gusto con los procesos cognitivos que son requeridos para resolver problemas complejos de la vida dentro y fuera del centro escolar, como interactuar con dispositivos tecnológicos desconocidos” (Pisa in focus, 38, p. 3).

El real decreto educativo de 2006 ya relacionaba claramente la alfabetización científica del alumnado con el aprendizaje a través de problemas abiertos:

“Favorecer la familiarización progresiva del alumno con la cultura científica, llevándole a enfrentarse a problemas abiertos y a participar en la construcción y puesta a prueba de

soluciones tentativas fundamentadas. Ésta es la alfabetización científica que requiere la formación ciudadana, pero es también la mejor formación científica inicial que puede recibir un futuro científico” (R.D. 1631/2006, p. 691).

La contextualización es uno de los pilares de la metodología que se va a desarrollar en la presente investigación. Trabajos realizados en química señalan las ventajas de dicha contextualización en el planteamiento de situaciones problemáticas abiertas:

“El planteamiento de situaciones problemáticas reales puede establecer además las conexiones entre los conceptos, los procedimientos y las actitudes que destacarían la funcionalidad de los conocimientos, poniendo de relieve la utilidad de lo que se aprende. Todo ello va encaminado a contemplar las interacciones entre las disciplinas científicas y el alumno dentro del contexto social y de desarrollo tecnológico en el que se desenvuelve”. (Martínez-Aznar & Ovejero, 1997, p.401)

Además, con la propuesta de trabajo de problemas abiertos centrados en contextos cercanos al alumno se producen actitudes más favorables hacia las relaciones CTSA que si se sigue una metodología tradicional (Ibáñez, 2003). Las actividades de clase que intentan enlazar con el trabajo de clase y los sucesos de la vida cotidiana mejoran las habilidades de pensamiento crítico de forma estadísticamente significativa y consiguen que tengan más confianza en sí mismos y madurez (Barak, Ben-Chaim & Zoller, 2007).

Para Edelson et al. (1999), las actividades de indagación, como las que se proponen, proporcionan un contexto adecuado para realizar un aprendizaje significativo, en muchos aspectos, pues permiten que el alumno:

- Confronte su conocimiento para reconocer las lagunas y límites y así despertar su interés y curiosidad, y por tanto le motive.
- Demande la necesidad de adquirir ciertos conocimientos (para ello se diseñan) para completar con éxito la investigación propuesta.
- Descubra nuevos conocimientos o principios científicos y perfeccionar la comprensión de los que ya conocían.
- Tenga la oportunidad para aplicar sus conocimientos científicos, lo que puede, además, requerir su reorganización.

Así, se debe dar en la presente investigación una gran importancia al diseño de los materiales, que incluirán las propuestas de situaciones problemáticas adecuadas para que cumplan varias condiciones:

- Estar contextualizadas y por tanto ser motivadoras.
- Tener en cuenta los conocimientos previos y las concepciones alternativas del alumnado.
- Permitir afianzar conceptos y enlazar otros nuevos a su estructura de conocimiento.
- Estar adecuadamente secuenciados.
- Activar procedimientos de indagación.

Para P.H. Anderson y Lawton (2007), la importancia de la selección de lo que llaman "problemas buenos" es fundamental. De "la calidad del problema" depende en gran medida que la implementación de la metodología de ABP sea un éxito. Así, para Duch, Gron & Allen (2001) los problemas diseñados en ABP necesitan satisfacer dos criterios para ser eficaces:

- Deben captar el interés de los estudiantes.
- Deben requerir, por parte de los estudiantes desarrollar y aplicar los principales conceptos del curso con el fin de resolver con éxito el problema (Dutch et al en P.H. Anderson y Lawton (2007)).

La necesidad de elaborar materiales contextualizados de calidad va a suponer un reto para la presente investigación. La integración real en las aulas de temas cercanos y motivadores, como por ejemplo los medioambientales, parece ser un proceso complejo para el profesorado por la necesidad de adaptar materiales y recursos. Desde el punto de vista de estos, los principales obstáculos para introducir una educación ambiental en la ESO serían la sobrecarga de tareas que ya se exige al profesorado, la falta de recursos, la organización de espacios, escasez de apoyos internos y externos al centro, etc. (Pascual-Trillo, Esteban, Martínez, Molina & Ramírez, 2000).

Además de ser "buenos", los problemas diseñados no deben ser considerados aislados sino tener una coherencia dentro de una unidad de trabajo, tanto en la progresión de contenidos que deben surgir, como en la complejidad de los procedimientos a trabajar, tanto de la disciplina como de

propia metodología de indagación en sí misma. Se hace pues necesario un desarrollo de materiales específicos y novedosos que se adapten a las necesidades de la presente investigación y que conformen una Unidad Didáctica de trabajo.

Según el modelo didáctico de Parra (2009) para la enseñanza de las ciencias sociales, una unidad didáctica debe cumplir dos funciones principales:

- Permitir articular el proceso de enseñanza-aprendizaje de forma integral a partir de las decisiones que se van adoptando en cada uno de los elementos del modelo didáctico de referencia con vistas a la orientación de dicho proceso.
- Ser un instrumento que contribuya a aumentar la profesionalidad del docente por hacerle reflexionar sobre la práctica educativa y la toma de decisiones que conlleva.

La presente investigación puede servir para ilustrar cómo se pueden adaptar materiales muy diversos para acercar la ciencia a los aspectos de la actualidad que preocupan a la sociedad y al alumnado, y así trabajar de forma contextualizada temas ambientales, como las energías renovables, en el marco crítico de la sostenibilidad del planeta, sin abandonar los contenidos curriculares básicos de una materia como la Química

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tras presentar el marco teórico sobre el que se sustenta el trabajo, en el presente capítulo se muestra el diseño de la investigación propiamente dicho. Así, se explican los planteamientos iniciales de la presente investigación basada en la MRPI. Se resalta la importancia de, centrándose en los contenidos del currículo oficial de Química, buscar conexiones con aspectos CTSA. Se plantean, desde una coherencia con la investigación, cuáles son las hipótesis de trabajo y, se desarrolla la metodología que se sigue en el aula. Además, se explica la secuencia de la investigación y se analiza el tipo de muestra del trabajo. También se detalla el diseño de los instrumentos elaborados para la recogida de datos y las técnicas para su análisis.

2.1. FINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo que se presenta forma parte de una serie de estudios basados en la MRPI realizados por el equipo encabezado por la Dra. M^a Mercedes Martínez Aznar, en los últimos veinte años. Como se señaló en el apartado 1.5, dichos estudios, centrados por un lado en el cambio conceptual y por otro en las relaciones CTSA, se han realizado en diversos campos como la Física o la Biología y con muestras de naturaleza muy diversa como son alumnos de primaria, secundaria obligatoria, bachillerato, e incluso maestros en formación inicial. Por ello, se decide aplicar la misma metodología para la presente investigación, con la finalidad de:

Comprobar si, como cabe esperar, en disciplinas como la Química para primer curso de bachillerato, una vez aprendida la metodología para la resolución de situaciones problemáticas y su utilización, se consigue el aprendizaje por cambio conceptual de los conocimientos sobre las reacciones químicas y su energía y, además, éste resulta persistente en el tiempo.

Dentro de dicha disciplina se decide que un bloque de estudio adecuado es el de reacciones químicas, eje central de la disciplina, donde la bibliografía señala numerosas concepciones alternativas que, en muchos casos, resultan muy persistentes en el tiempo. Por otro lado es interesante, continuando con la línea de trabajo del grupo de investigación, ahondar en relaciones CTSA y, en ese sentido, las reacciones químicas proporcionan grandes posibilidades de relacionar los contenidos científicos con el entorno social del alumno. La implicación que un enfoque de este tipo puede aportar a la investigación lleva a ampliar los objetivos y así, a los contenidos básicos indicados para reacciones químicas, se añade un aspecto de

actualidad: los problemas energéticos y medioambientales. Por tanto, la finalidad principal se completa con un nuevo objetivo:

Comprobar si mediante la inclusión en las situaciones problemáticas planteadas de aspectos CTSA relacionados con el medioambiente, en primer curso de bachillerato, se consigue, a través de la resolución de situaciones problemáticas, el aprendizaje por cambio conceptual en conocimientos sobre energías renovables y medioambiente.

Los aspectos medioambientales se pueden tratar a través de las reacciones químicas que se dan en las transformaciones de una energía renovable: la biomasa. Así, se pueden trabajar contenidos de reacciones químicas propiamente dichos a la vez que contenidos y actitudes medioambientales. Ambos bloques de contenidos deben aparecer como uno solo y por ello es necesario elaborar una Unidad Didáctica específica.

Por otro lado, aún siendo conscientes de que las actitudes de los alumnos son difíciles de evaluar, se propone para el trabajo el reto de intentar:

Corroborar si, al trabajar con los materiales propuestos y la metodología de investigación de resolución de problemas se producen cambios, estadísticamente significativos, en sus actitudes hacia el medioambiente.

Además interesa profundizar en los aspectos metacognitivos, y se plantea conocer lo que los alumnos piensan sobre esta metodología, si reconocen la utilidad de su aprendizaje en adquisición de ciertas destrezas como la resolución de problemas. Se pretende como punto final:

Observar si los alumnos, al trabajar con la metodología de resolución de problemas por investigación, asumen como positivo su aprendizaje y reconocen su utilidad en la resolución de problemas en diferentes ámbitos.

A partir de estas premisas, y con la intención de mejorar la calidad de la educación científica a través de cambios metodológicos, se puede concretar la finalidad de esta investigación como sigue:

Demostrar que a través de la resolución de situaciones problemáticas de química, mediante la metodología indagativa de resolución de problemas por investigación (MRPI), los alumnos logran aprendizajes significativos sobre conceptos, procedimientos y actitudes y, estadísticamente mejores que los alcanzados por alumnos que siguen una metodología de enseñanza más tradicional.

2.2. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo, por encontrarse en el ámbito de las investigaciones educativas de didáctica de las ciencias experimentales, presenta matices de investigación social, por lo que resulta interesante realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos. La metodología de la investigación se sitúa dentro del paradigma investigación-acción donde el profesor juega el doble papel de profesor-investigador, que según describe Porlan (1987) es un profesor que:

“Investiga en el aula, sólo o con ayuda de observadores externos, para resolver los problemas concretos (investigación para la acción) y paralelamente reflexionar, teorizar y reconstruir progresivamente el currículum. Desde esta perspectiva, investigación en el aula, cambio curricular y formación del profesor, son tres aspectos de un mismo proceso permanente” (Porlan, 1987, p.64).

El diseño de la investigación es cuasiexperimental pues se estudian los grupos intactos, no seleccionados al azar y el control de variables es parcial según las características señaladas por Cook y Campbell (1979). Los tipos de muestra que se utilizan son de tipo incidental y la validez de la investigación es ecológica como se explica más adelante en el apartado 2.3.

Se estudia el aprendizaje en un grupo experimental y, además, se compara con otro grupo control, de forma que la variable independiente es la utilización de la MRPI o la ausencia de ésta. Para comprobar un posible cambio conceptual y actitudinal debido al cambio metodológico introducido por la utilización de la MRPI, se diseñan y analizan pruebas pretest y postest (antes y después de la fase de experimentación). Los análisis se realizan tanto para los alumnos que trabajarán con esta metodología indagativa que constituyen el grupo experimental (GEXP) como para alumnos que siguen una metodología tradicional en las aulas que constituirán el grupo control (GCON). Para ello, se elaboran test de respuestas cerradas que se evalúen de forma cuantitativa y, otros de respuesta abierta que, junto con las situaciones problemáticas que se plantean, requieren un estudio cualitativo con rangos de valores. Así, las producciones se evalúan con herramientas de análisis estadísticos que se seleccionarán, como se verá más adelante, según el tipo de instrumento utilizado, las muestras a comparar y el tipo de información requerida. El trabajo de aula se realiza en dos fases experimentales (fase I y fase II), en dos años distintos y con muestras diferentes para poder llegar a resultados más concluyentes.

2.3. MUESTRAS DE LA INVESTIGACIÓN

Como ya se ha comentado, las muestras que forman parte de esta investigación son de tipo incidental, puesto que no se escogen sino que son grupos clase de centros educativos convencionales.

La profesora investigadora en el momento de la fase de experimentación se encontraba en un puesto de “funcionario en expectativa de destino”, habitual para los profesores de enseñanza secundaria de la especialidad de Física y Química con la oposición posterior al año 1992. Así, como muy bien dice la situación administrativa, cada año se espera “expectante” qué deparará el “destino”.

De esta forma ni las localidades, ni el centro, ni el tipo de alumnado son, ni mucho menos, elegidos por una situación más o menos favorable de aprendizaje. Son los grupos de clase estándares que cada día se encuentran los profesores en su labor docente. De hecho es elogiable que los compañeros de departamento de la profesora investigadora le cediesen, sin conocerla, el curso de 1º de Bachillerato para poder realizar el estudio.

Para la primera fase de experimentación, año 1999/2000, el GEXP está formado por una clase de 28 estudiantes, 24 mujeres y 4 hombres, de edad media 16,5 años, de 1º Bachillerato LOGSE de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y la Salud del IES Doctor Marañón (Alcalá de Henares), pertenecientes a una clase económica y social media. La muestra que constituye el GCON es una clase formada por 23 alumnos del mismo centro, nivel e itinerario académico y pertenecientes al mismo estrato social. Consta de 13 mujeres y 10 hombres con una edad media de 16,6 años. Los grupos se han confeccionado según la elección de optativas, no de resultados académicos, lo que permite intuir que podrían ser en principio homogéneos. En ambos casos, el número de mujeres es superior al de hombres aunque dicha diferencia no supone en principio ningún problema para la homogeneidad como luego se verá. Además, en el equipo de investigación en el que se inscribe este trabajo ya se ha puesto de manifiesto que la variable sexo no afecta al desempeño en la MRPI (Varela, 1994).

Para la fase experimental II (2001/2002), la muestra del GEXP consiste en un total de 30 alumnos de la localidad madrileña de Rivas Vaciamadrid

(21 que han escogido la opción de Bachillerato Tecnológico y 9 que han escogido la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y la Salud). Cinco son mujeres y 25 hombres, de edad media 16,6 años. El nivel socioeconómico y cultural de los alumnos es medio. La muestra que constituye el GCON para este año consiste en 39 alumnos, 20 mujeres y 19 hombres, de edades medias 16,7 años y pertenecientes a dos clases de 1º de bachillerato, una de la modalidad Ciencias de la Naturaleza y la Salud y la otra con la modalidad de Tecnológico, al igual que la muestra del GEXP de ese año. El Instituto al que pertenecen es el IES Victoria Kent situado en la localidad madrileña de Torrejón de Ardoz y el nivel socioeconómico y cultural de los alumnos es medio. Las diferentes opciones de Bachillerato no influyen en el currículo de la asignatura de Física y Química.

Para la elección de los GCON se precisa unos requisitos tanto a los estudiantes como al profesorado. Por un lado los estudiantes tienen que ser, al igual que los alumnos del GEXP, de centros públicos y semejantes tanto en lo académico como en condicionantes externos, nivel económico, social, formación, expectativas, etc., lo que confiere la representatividad de la muestra en ese aspecto.

En cuanto al profesorado a cargo de los GCON se considera que debe tener suficiente experiencia docente (al menos 5 años) y, además, estar dispuesto a establecer una comunicación fluida con la profesora investigadora a la hora de llegar a acuerdos curriculares, entregar pruebas y recoger resultados.

Efectivamente, los dos profesores de los GCON participantes se pueden considerar como prototipos de profesores-expertos de la enseñanza pública, funcionarios de edades comprendidas entre los 30 y 50 años de edad y más de 5 años de experiencia docente. El profesor del GCON de la fase I es un varón de estas características, con destino en el centro y con más de 15 años de experiencia docente. En la fase II es una profesora con la misma trayectoria profesional que la profesora investigadora, con los mismos años de experiencia docente (en ese momento 7 años) y también en expectativa de destino.

En lo referente al tamaño de la muestra, se consideran representativas de un mismo universo. Algunos autores opinan que no se obtiene una mayor generalidad por aumentar el número de individuos explorados, sino que la

validez de la investigación viene avalada por un diseño rico en diferentes aspectos del problema a investigar. Es necesario por tanto, arbitrar mecanismos de exploración y contraste de las hipótesis de tal forma que los resultados obtenidos puedan considerarse complementarios (Larkin & Rainard, 1984). Fox (1987) afirma que lo importante es que el tamaño sea lo suficientemente grande como para conseguir representatividad y que ese número variará de un estudio a otro. Este autor concluye que el tamaño muestral correcto es el necesario para conseguir la precisión que el investigador desee.

Investigaciones similares que utilizan muestras semejantes en número (por las mismas limitaciones de alumnado objeto del estudio), aseguran que en la mayoría de las investigaciones didácticas de este tipo se prima el aspecto de la representatividad sobre el problema del tamaño (Ibáñez, 2003).

Se considera pues la muestra seleccionada como representativa del universo estudiado, los estudiantes de 1º de bachillerato que cursan la asignatura de Física y Química de forma obligatoria dentro de la modalidad de Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza y la Salud o de Bachillerato Tecnológico. Incluso en las dos fases de investigación los centros y localidades de los GEXP y GCON varían. Así se puede concluir que, en las muestras, la representatividad se garantiza por el hecho de que los grupos experimentales son alumnos de bachillerato de institutos prototipos, de una amplia muestra de centros españoles, población a la cual se pueden extrapolar las conclusiones obtenidas en la investigación.

2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La emisión de hipótesis de trabajo es primordial a la hora de diseñar una investigación. Con ellas se revela la esencia y propósito del trabajo a cualquier persona que la lea (Fox, 1987). Además, con ellas se estructura el análisis estadístico, lo que permitirá obtener conclusiones aceptables. En el presente estudio, las hipótesis han sido formuladas teniendo en cuenta los requisitos que se deben cumplir en las hipótesis científicas y que han sido expuestos por filósofos de la Ciencia:

- Según Lakatos, las hipótesis deben ser muy generales, no independientes, y desarrollar a partir de ellas el programa de investigación (Lakatos, 1974).
- Para Popper, deben ser falsables, es decir, deben tener enunciados incompatibles con ella. Cuanto más falsable es una hipótesis mayor contenido informativo proporciona sobre la realidad (Popper, 1967; Chalmers, 1992).
- Para Bunge, deben cumplir tres requisitos: ser formalmente correctas y además ser significativas, fundadas en el conocimiento previo o ser compatibles con el cuerpo de conocimiento científico, y ser empíricamente contrastables (Bunge, 1979).

Asumiendo estas premisas se elaboran las hipótesis del presente trabajo de investigación que se exponen a continuación. Algunas se encuentran desglosadas en subhipótesis para posibilitar su contrastación.

2.4.1. HIPÓTESIS PREVIA DE TRABAJO H0

En la selección de los sujetos que constituyen el grupo experimental (GEXP) y control (GCON) se debe tener en cuenta que han de ser lo más parecidos posibles de forma que constituyan muestras representativas de una misma población. Se ha de comprobar que en efecto, en el momento inicial, ambos grupos son estadísticamente homogéneos en cuanto a sus conocimientos, procedimientos y actitudes respecto a las cuestiones relacionadas con la presente investigación. De no ser así no se podría atribuir a la MRPI las mejoras en los aprendizajes del grupo experimental frente al control.

Por ello, se propone una hipótesis de trabajo previa, la H0, que debe contrastarse en los grupos que vayan a formar parte de la investigación y que se enuncia de la forma siguiente:

<i>HIPÓTESIS 0 (H0)</i>
<i>“Los grupos experimental y control son homogéneos en cuanto a los conocimientos iniciales estudiados en la investigación”.</i>

Esta hipótesis se desglosa en cuatro subhipótesis para facilitar su contraste (cuadro 2.1).

<i>SUBHIPÓTESIS 0.1 (H0.1)</i>	<i>SUBHIPÓTESIS 0.2 (H0.2)</i>	<i>SUBHIPÓTESIS 0.3 (H0.3)</i>	<i>SUBHIPÓTESIS 0.4 (H0.4)</i>
<i>“Los estudiantes del GEXP y GCON son homogéneos en relación a los procedimientos iniciales utilizados para resolver problemas abiertos”.</i>	<i>“Los estudiantes del GEXP y GCON son homogéneos en relación a los conocimientos iniciales sobre contenidos conceptuales de reacciones químicas”.</i>	<i>“Los estudiantes del GEXP y GCON son homogéneos en relación a los conocimientos iniciales sobre contenidos conceptuales de medioambiente”.</i>	<i>“Los estudiantes del GEXP y GCON son homogéneos en relación a las actitudes iniciales manifestadas hacia el medioambiente”.</i>

CUADRO 2.1. ENUNCIADO DE LAS SUBHIPÓTESIS H0.1 A H0.4.

2.4.2. HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN EN EL AULA

Las hipótesis de intervención en el aula se reorganizan en torno a tres bloques relacionados con:

- ***El aprendizaje de procedimientos*** tanto en lo referente a la aplicación de la metodología de resolución de problemas como investigación (H1) como a la resolución de problemas cerrados (H2).
- ***El aprendizaje de conceptos*** tanto de química como medioambientales (H3).
- ***El aprendizaje de actitudes*** tanto en cuestiones medioambientales (H4) como respecto al proceso de aprendizaje a través de la metodología de resolución de problemas como investigación (H5).

Hipótesis relativas al aprendizaje de procedimientos

Para el primer bloque se enuncian dos hipótesis. La primera, se refiere a la resolución de situaciones problemáticas abiertas aplicando la MRPI, cuyo

estudio, lógicamente, se refiere tan solo a la propia evolución del grupo experimental, que es el único que ha trabajado con esta metodología.

<i>HIPÓTESIS 1 (H1)</i>
<i>“Los estudiantes del GEXP evolucionarán de forma estadísticamente significativa en el aprendizaje de la MRPI, lo que les permitirá alcanzar niveles de resolución más complejos en cada una de las variables metodológicas y de verbalización en la resolución de problemas abiertos”.</i>

La segunda se refiere a la comparación de los aprendizajes de procedimientos de resolución de problemas tradicionales (cerrados) de los grupos experimental y control. Cabe indicar que el grupo experimental no es específicamente entrenado en este tipo de problemas en el desarrollo de la Unidad Didáctica.

<i>HIPÓTESIS 2 (H2)</i>
<i>“Existen diferencias estadísticamente significativas en la resolución de problemas cerrados a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON que ha trabajado con una metodología tradicional”.</i>

Hipótesis relativas al aprendizaje de conceptos

En relación al segundo bloque planteado, se propone la siguiente hipótesis:

<i>HIPÓTESIS 3 (H3)</i>
<i>“Al final del proceso de enseñanza-aprendizaje se producirá un cambio conceptual estadísticamente significativo, tanto en conocimientos relativos a reacciones químicas como medioambientales, a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON”.</i>

Esta hipótesis se puede desglosar en cinco subhipótesis. La primera, se refiere al aprendizaje de conceptos relacionados con las reacciones químicas del propio GEXP. En la segunda se compara el cambio conceptual producido respecto a conceptos de química en los dos grupos de la muestra. La tercera se refiere al aprendizaje de conceptos relacionados con el

medioambiente en el propio GEXP. La cuarta subhipótesis recoge la comparación de los grupos experimental y control en el aprendizaje de conceptos medioambientales, centrados en las energías renovables y, en concreto, en la energía de la Biomasa.

Para conocer si el cambio conceptual acaecido permanecerá en el tiempo, se plantea una última hipótesis de trabajo dentro de este bloque de contenidos. Todas ellas se recogen en el cuadro 2.2.

SUBHIPÓTESIS 3.1 (H3.1)	SUBHIPÓTESIS 3.2 (H3.2)	SUBHIPÓTESIS 3.3 (H3.3)	SUBHIPÓTESIS 3.4 (H3.4)	SUBHIPÓTESIS 3.5 (H3.5)
<i>“En los estudiantes del GEXP se producirá un cambio conceptual estadísticamente significativo en relación a los conocimientos sobre reacciones químicas como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI”.</i>	<i>“Existen diferencias estadísticamente significativas en el aprendizaje de conceptos sobre reacciones químicas a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON”.</i>	<i>“En los estudiantes del GEXP se producirá un cambio conceptual estadísticamente significativo en relación a los conocimientos medioambientales como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI”.</i>	<i>“Existen diferencias estadísticamente significativas en el aprendizaje de conceptos medioambientales a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON”.</i>	<i>“El cambio conceptual producido en el GEXP, debido al aprendizaje con la MRPI, persistirá en el tiempo sin sufrir un retroceso estadísticamente significativo”.</i>

CUADRO 2.2. ENUNCIADO DE LAS SUBHIPÓTESIS RELATIVAS AL APRENDIZAJE DE CONCEPTOS.

Hipótesis relativas al aprendizaje de actitudes

En relación al tercer bloque se plantean dos hipótesis. Una de ellas, H4, se refiere a la actitud del alumnado hacia el medioambiente y la segunda, H5, a su actitud hacia la propia metodología. Así, el primer enunciado es el siguiente:

HIPÓTESIS 4 (H4)
<i>“Se producirá una evolución estadísticamente significativa hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente en los alumnos del GEXP”.</i>

Para favorecer su contraste se desglosa en dos subhipótesis. Una se refiere al cambio de actitudes dentro del propio grupo experimental y la

otra compara el cambio actitudinal producido en los dos grupos de la muestra (cuadro 2.3).

<i>SUBHIPÓTESIS 4.1 (H 4.1)</i>	<i>SUBHIPÓTESIS 4.2 (H 4.2)</i>
<i>“Se producirá una evolución estadísticamente significativa hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente en los estudiantes del GEXP, como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI”.</i>	<i>“Se producirá una evolución estadísticamente significativa hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente mayor en los alumnos del GEXP que en los del GCON”.</i>

CUADRO 2.3. ENUNCIADO DE LAS SUBHIPÓTESIS RELATIVAS AL APRENDIZAJE DE ACTITUDES.

La segunda hipótesis pretende determinar si esta forma de trabajo en el aula promovería una actitud positiva hacia el aprendizaje de las ciencias en general, y hacia la resolución de problemas en particular.

<i>HIPÓTESIS 5 (H5)</i>
<i>“Los alumnos que han trabajado según la MRPI, asumirán como positivo su aprendizaje a través de ésta metodología y reconocerán su utilidad para transferirlo a otras asignaturas”.</i>

A modo de resumen en la figura 2.1 se muestra un esquema simplificado de todas las hipótesis y subhipótesis de la presente investigación.

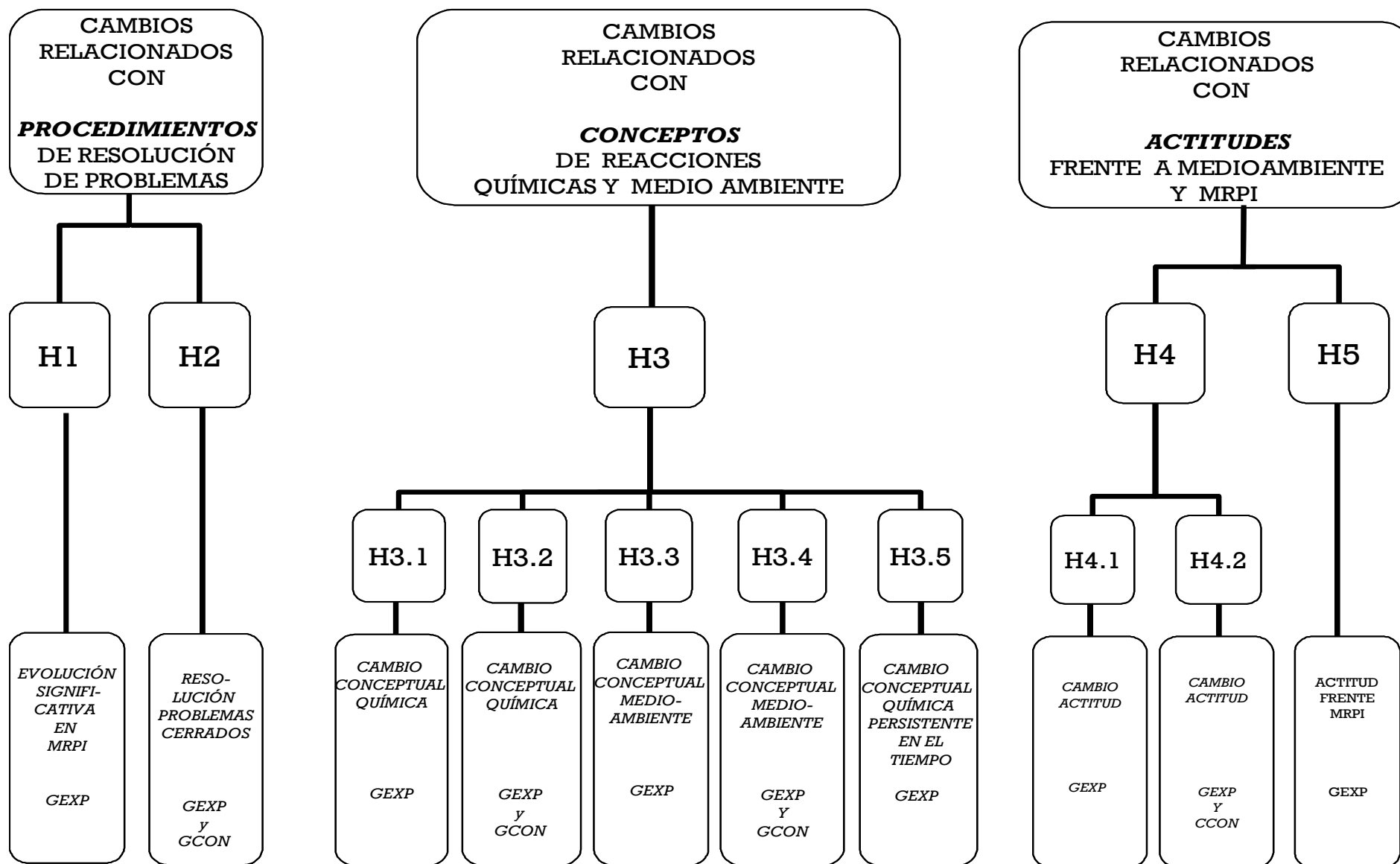


FIGURA 2.1. ESQUEMA-RESUMEN DE LAS HIPÓTESIS DE TRABAJO PLANTEADAS EN LA INVESTIGACIÓN.

2.5. SECUENCIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación que se presenta consta de tres etapas o fases.

Un primer momento que constituye la fase preliminar, en el que se realizan trabajos previos a la experimentación como son la búsqueda bibliográfica o la preparación de materiales. Hay que tener en cuenta que la MRPI es novedosa tanto para los alumnos que forman parte de los diferentes estudios como para la propia investigadora, por lo que sirve de toma de contacto y de puesta a punto de los materiales de la investigación.

Un segundo momento, en el que se lleva a cabo la investigación en el aula (fase experimental), que se realiza en dos años consecutivos, en distintos centros y con distintas muestras, y que constituyen la fase experimental I y la fase experimental II (en adelante fase I y fase II).

Por último, la fase final, en la que se analizan los resultados y se estructura la memoria. Las etapas de la investigación así como las actuaciones principales en cada una aparecen en el cuadro 2.4.

FASE PRELIMINAR		FASE DE EXPERIMENTACIÓN		FASE FINAL
		<i>I</i>	<i>II</i>	
1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2003 → 2014
<ul style="list-style-type: none"> ■ Análisis bibliográfico ■ Selección de materiales ■ Toma de contacto con la metodología ■ Elaboración de la Unidad Didáctica ■ Comprobación de las concepciones alternativas 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Desarrollo de la investigación ■ Análisis de datos ■ Revisión de la U. D. y los instrumentos de recogida de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Desarrollo de la investigación ■ Análisis de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Actualización bibliográfica ■ Análisis de los datos ■ Contrastes de hipótesis ■ Elaboración de conclusiones ■ Comunicación de resultados y redacción de la memoria

CUADRO 2.4. ETAPAS LLEVADAS A CABO EN LA INVESTIGACIÓN.

2.5.1. FASE PRELIMINAR: UBICACIÓN, SELECCIÓN DE MATERIALES Y TOMA DE CONTACTO CON LA METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Esta fase comprende los años previos a la experimentación (1997/2000) y en ella se realizan numerosos trabajos dentro y fuera del aula. Fuera del aula se analiza exhaustivamente la bibliografía referente a concepciones alternativas sobre reacciones químicas y medioambiente, resolución de problemas, etc., se elaboran cuestionarios y se diseña la Unidad Didáctica elaborando los materiales que forman parte de ésta. Dentro del aula se inicia la toma de contacto con la metodología. Algunos detalles de los trabajos realizados son:

Revisión bibliográfica sobre:

- La metodología para la resolución de situaciones problemáticas.
- Las concepciones alternativas sobre conceptos relativos a reacciones químicas y a conceptos medioambientales.
- Los aspectos referentes a la psicología del aprendizaje, como por ejemplo, metacognición, cambio conceptual, aprendizaje de procedimientos, creatividad, etc.
- Estudios sobre modelos de unidades didácticas.
- Diferentes formas de trabajo en el aula como, por ejemplo, situaciones de aprendizaje en el laboratorio.
- La enseñanza-aprendizaje de las reacciones químicas y su energía, así como de la energía de la biomasa.

Estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes y elaboración de cuestionarios:

- Se elaboran cuadros-resumen que recojan concepciones alternativas sobre conceptos relativos a reacciones químicas, energía y medioambiente.
- Se realizan entrevistas grabadas que corroboran estándares sobre dichas concepciones alternativas.
- Se elaboran cuestionarios previos que permitan dar forma al test definitivo, no en el sentido de concretar los ítems, sino mas bien en el de ratificar la premisa de que las preguntas deben tener una serie de opciones de respuesta. Se llega a esta conclusión observando que en su mayoría los alumnos tienden a coartarse al razonar sobre cuestiones científicas. Para no perder información se decide añadir al final de cada ítem la posibilidad de un por qué que deje un margen de explicación al alumno.
- Se elaboran pruebas de lápiz y papel que permitan evaluar el punto de partida, en relación con contenidos de tipo conceptual, de los estudiantes teniendo en cuenta las concepciones alternativas de la bibliografía.
- Se diseñan pruebas de lápiz y papel para evaluar el aprendizaje conceptual tras la experimentación.

Elaboración de la Unidad Didáctica cuyo trabajo incluye:

- El estudio de los contenidos curriculares sobre reacciones químicas.
- La búsqueda de contenidos y materiales CTSA relacionados con la energía de la biomasa.
- La unificación de los contenidos conceptuales sobre reacciones químicas y biomasa.
- El análisis de las concepciones alternativas recogidas relacionadas con la Unidad.
- El planteamiento de las hipótesis de trabajo recogidas en el apartado 2.4.
- La selección de las situaciones problemáticas abiertas que configuran la Unidad Didáctica.
- El diseño de las plantillas para la corrección de las situaciones problemáticas.
- La elaboración de la Unidad “Reacciones Químicas y Biomasa”, como único material de referencia para el trabajo de los alumnos.

Toma de contacto por parte de la profesora investigadora con la metodología de investigación en el aula:

- En el curso 1998/1999 en el IES Giner de los Ríos de Alcobendas (Madrid) se trabaja con alumnos de las mismas características que la muestra de la futura investigación (como hemos visto en la descripción de las muestras). En el curso 1999/2000, que se corresponde con el segundo año de la fase preliminar, se implementan algunas pruebas iniciales y se trabaja la metodología de resolución de problemas como investigación con alumnos de 3º de ESO del IES Doctor Marañón (Alcalá de Henares).
- Se abordan problemas del tipo “¿Cuánto hierro hay en una barra de este material?”, “¿Qué cantidad de aire es necesaria para la combustión del acetileno?”, “¿Cuánta agua se obtiene al quemar metano?” “¿Cuánto aire se necesita para quemar metano?” o “¿Qué ocurre al juntar dos líquidos?”. Algunos de estos problemas serán incluidos en la Unidad o como entrenamiento previo en los GEXP de las fases experimentales.
- También se trabaja el problema que se considera prueba inicial de procedimientos en la investigación, problema 0, “¿Qué volumen tiene un sólido?” que fue resuelto por los grupos GEXP y GCON como punto de partida en la fase de experimentación.

Todo el trabajo desarrollado en esta fase previa, además de poner a punto materiales, permite tomar contacto con la MRPI y así detectar:

- Las necesidades de la profesora-investigadora a la hora de llevar a cabo esta metodología de resolución de situaciones problemáticas en el aula.
- La diferente forma en que los alumnos se enfrentan a problemas abiertos cuando tienen o no pautas de trabajo.

- La necesidad de un aprendizaje previo de la MRPI antes de que los estudiantes se enfrentasen a la resolución de problemas de la Unidad Didáctica que iba a ser desarrollada en la investigación final.
- La implicación y motivación que esta forma de trabajo genera en los alumnos.
- La necesidad de diseñar una plantilla de recogida de datos para las resoluciones de problemas mediante la MRPI.

2.5.2. ESTUDIO EMPÍRICO: FASE EXPERIMENTAL I

Las tareas iniciales que se realizan dentro de esta etapa son:

- Coordinación con el profesor del grupo control, que pertenece al mismo centro escolar, acerca del tipo de contenidos curriculares y su temporalización al trabajar con los estudiantes de ambos grupos.
- Detección de las concepciones alternativas y los conocimientos conceptuales iniciales de los estudiantes de los GEXP y GCON en relación con los temas seleccionados.
- Organización del trabajo en grupos en el aula para el desarrollo del aprendizaje de forma cooperativa.
- Desarrollo de la fase de aprendizaje previo de la MRPI por parte de los estudiantes del GEXP.

Esta fase se desarrolla durante el curso académico 2000/2001 en el IES Doctor Marañón de Alcalá de Henares (Madrid). Los alumnos que van a formar parte del grupo experimental son de primero de bachillerato y con las características que se han expuesto en el apartado 2.3.

Es importante destacar que los alumnos participantes no entran en contacto con la metodología de resolución de problemas hasta el momento de desarrollar la Unidad Didáctica.

La experimentación, en cuanto a los aspectos empíricos, tiene lugar en el tercer trimestre del curso 2000/2001. A lo largo de la misma, que es realmente la fase experimental I, se realizan las siguientes tareas:

- Detección de concepciones alternativas.

- Desarrollo de la secuencia de problemas abiertos para la correspondiente Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa”.
- Recogida de datos a partir de las producciones escritas de los alumnos, individualmente y en grupo, para su análisis.

Para estudiar la posible persistencia en el tiempo del cambio conceptual, en el primer trimestre del siguiente curso académico 2001/2002 se repite de nuevo parte del estudio empírico al grupo experimental de la fase experimental I. Tras la recopilación de los primeros datos se analizan estos. Este primer análisis permite evaluar la adecuación de algunos de los materiales en esta primera fase y así poder modificarlos, oportunamente, en la segunda fase experimental.

Se plantea la posibilidad de realizar un segundo año de investigación en el curso siguiente para confirmar resultados. Esto es posible pues en su siguiente destino, la profesora investigadora tiene de nuevo la posibilidad de impartir clases a 1º de bachillerato.

2.5.3. ESTUDIO EMPÍRICO: FASE EXPERIMENTAL II

En el siguiente curso académico 2001/2002 se utilizan materiales modificados a partir de la primera fase. Estas modificaciones afectan tanto a las pruebas iniciales y finales de detección de concepciones alternativas y contenidos conceptuales, como a la propia Unidad Didáctica, así como al listado de problemas abiertos a trabajar en ella, como se indicará más adelante.

Este estudio se lleva a cabo en el IES Europa de Rivas-Vaciamadrid (Madrid). Las características del alumnado son semejantes a las de la primera fase, como se ha descrito en el apartado 2.3 donde se analiza la muestra. Se llegan a los mismos acuerdos con la profesora responsable del grupo control que se encuentra en el IES Victoria Kent de Torrejón de Ardoz (Madrid).

La estructura de la investigación se mantiene como en la fase I. La experimentación, en cuanto a los aspectos empíricos, tiene lugar en el tercer trimestre del curso 2001/2002. A lo largo de ésta, que es la fase experimental II, se realizan las mismas tareas que en la fase anterior.

Al igual que en la fase experimental I se pretende estudiar la posible persistencia del cambio conceptual en este grupo a lo largo del tiempo. Tras la información obtenida en la fase II, se recoge 4 meses más tarde, en el primer trimestre del curso académico 2002/2003, la información de los test finales que habían realizado los alumnos del GEXP.

2.5.4. FASE FINAL: EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta fase se contrastan las hipótesis planteadas. Para ello:

- Se analizan mediante diferentes técnicas estadísticas las producciones de los alumnos, es decir los problemas abiertos, y sus respuestas a las pruebas iniciales y finales, en relación a:
 - El aprendizaje de la MRPI llevado a cabo por los estudiantes del GEXP.
 - Las diferencias entre los aprendizajes finales realizados por los estudiantes del GEXP y GCON, tanto en conceptos, como en procedimientos de resolución de problemas.
 - El cambio conceptual operado en los estudiantes del GEXP, gracias al desarrollo de la MRPI, y su persistencia en el tiempo.
 - La opinión de los alumnos del GEXP en lo referente a la utilización de esta metodología investigativa de resolución de problemas.
- Se elaboran conclusiones e implicaciones, en relación al cuerpo de conocimiento didáctico, con objeto de favorecer la innovación educativa y el desarrollo profesional de los docentes de secundaria.

2.6. METODOLOGÍA DE AULA

Los alumnos del GEXP deben entrar en contacto con la MRPI, al igual que la profesora investigadora en los años previos a la fase de experimentación. No se puede ralentizar el desarrollo de la Unidad Didáctica porque el alumnado no se encuentre familiarizado con la nueva metodología. Para ello durante el primer y segundo trimestre del curso académico del trabajo experimental se resuelven diferentes situaciones problemáticas abiertas de otras temáticas del currículo que no interferirán en la investigación.

La plantilla de trabajo que siguen los alumnos tanto en la toma de contacto como en la fase de experimentación es, en todos los casos, una plantilla semejante a las que se utilizan en otras investigaciones que se han señalado en el capítulo 1, aunque modificada para la presente investigación. Tanto dicha plantilla como la metodología de aula, en general, se explicarán en el siguiente capítulo dedicado al desarrollo de la investigación en el aula. Tan solo destacar que se trabaja con la MRPI tanto de forma individual como en grupo pero que la evaluación se realizará con las producciones individuales de cada alumno.

En todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, el papel de la profesora-investigadora no es solo el seguimiento individual de cada alumno sino, también, el del grupo y la clase en general. Su intervención es principalmente como organizadora de las puestas en común de las ideas y como guía del aprendizaje de la MRPI y de los conceptos abordados.

En este sentido, es importante señalar cómo la unidad se estructura en base a unos problemas abiertos a realizar y unos materiales a utilizar. Según los requerimientos de los alumnos se pueden entregar diferentes materiales, pues el desarrollo de un mismo problema puede variar sustancialmente de un estudiante a otro.

2.7. COORDINACIÓN DE LOS GRUPOS EXPERIMENTAL Y CONTROL

Uno de los objetivos de la investigación es comparar el GEXP con el GCON, por ello, en todo momento debe existir un contacto continuo entre ambos profesores para consensuar tanto los contenidos que deben abordarse como la temporalización del bloque. Esto se asegura mediante el seguimiento de diarios de clase. El número y tipo de problemas seleccionados en la unidad permite que se aborden todos y cada uno de los contenidos requeridos, sin olvidar los tiempos dedicados a los mismos contenidos en el GCON.

Para posibilitar la comparación, la prueba de resolución de problemas cerrados, para la evaluación del GEXP y GCON, será propuesta por parte del profesor encargado del grupo control, que trabaja los contenidos de forma más convencional.

Además, el profesorado de los GCON ayuda a identificar las muestras y entrega los cuestionarios iniciales y finales diseñados en la investigación de forma sincronizada y consensuada con la profesora investigadora. Por otra parte, son parte activa en todo el proceso por lo que la comunicación con la profesora investigadora debe ser necesariamente muy fluida.

2.8. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE DATOS

Para comprobar las hipótesis propuestas, se diseñaron pruebas específicas de diferentes tipos. Aunque más adelante, en los apartados 2.8.1 a 2.8.2. se detallan y describen cada uno de los instrumentos y técnicas de recogida de datos, a continuación se muestra una visión general a modo de resumen de éstos.

Por un lado se elaboran plantillas de corrección de los problemas abiertos (PA) que evalúan las variables metodológicas y de verbalización, como se explica en el apartado 2.8.1. Además se utiliza una prueba de problemas cerrados (PC) propuesta por los profesores del grupo control.

Por otro, se elaboran cuestionarios iniciales y finales sobre cuestiones de conceptos químicos básicos que se denomina TEST DE CONCEPTOS DE QUÍMICA (TQ). Además, se utiliza otro más específico sobre conocimientos relacionados con el medioambiente y energías renovables, el TEST DE CONCEPTOS MEDIOAMBIENTALES (TMA). Para analizar las opiniones y actitudes hacia problemas medioambientales se diseña el TEST DE ACTITUD MEDIO AMBIENTE (TACT).

Por último se realizan estudios centrados en la toma de conciencia por parte del alumno de la evolución de su propio proceso de aprendizaje. Se evalúa a los alumnos experimentales realizando un cuestionario con finalidades metacognitivas, TEST METACOGNICIÓN-MRPI (TMRPI), al final del estudio sobre el proceso de aprendizaje utilizando la, para ellos novedosa, metodología de resolución de problemas por investigación.

Las pruebas se diseñan intentando obtener toda la información cualitativa posible sobre las ideas y razonamientos del alumnado pero, a la vez, que las respuestas sean fáciles de categorizar. Además, deben poder ser ordenadas en frecuencias o rangos de categoría para poder ser tratadas con programas estadísticos.

Es importante señalar que se trata de comparar los GEXP y GCON. Para ello, las pruebas se administran a los estudiantes de ambos grupos en momentos semejantes del desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. A continuación se analiza el diseño de los diferentes instrumentos seleccionados para contrastar las hipótesis y subhipótesis planteadas.

2.8.1. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE DATOS DISEÑADOS PARA CONTRASTAR LAS HIPÓTESIS RELACIONADAS CON PROCEDIMIENTOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS Y CERRADOS DE QUÍMICA

El primer grupo de hipótesis incluye las relacionadas con el desarrollo de capacidades relativas tanto a procedimientos de resolución de problemas abiertos como cerrados (H1 y H2 respectivamente). La relación entre éstas y los instrumentos utilizados para su estudio se muestra en la figura 2.2.

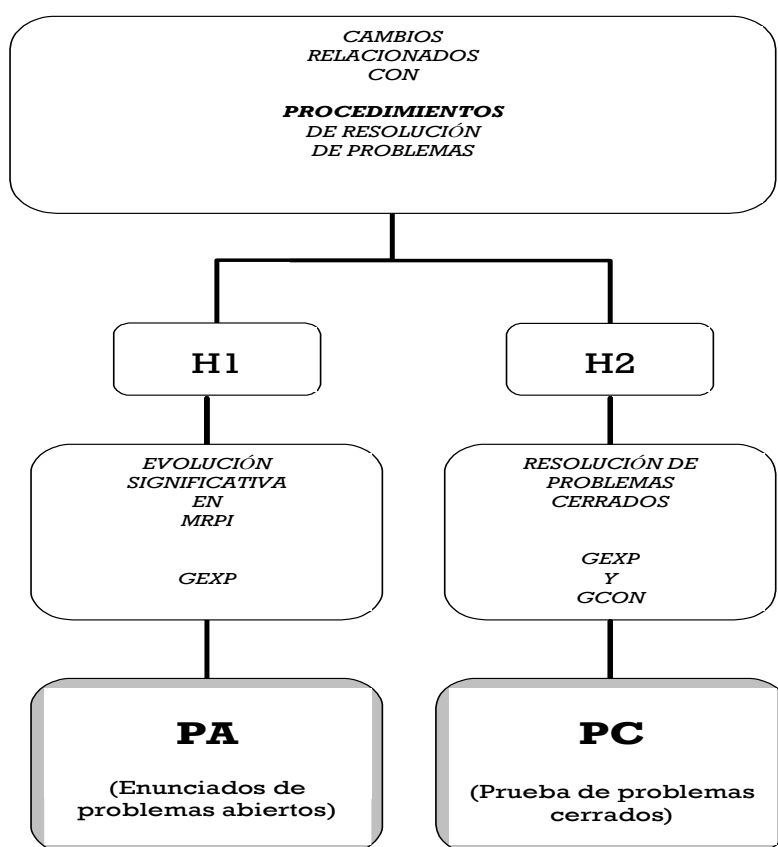


FIGURA 2.2. RELACIÓN ENTRE LAS HIPÓTESIS 1 Y 2 Y LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA CONTRASTARLAS.

A continuación se analizan los enunciados de problemas abiertos (PA) y la prueba de problemas cerrados (PC) propuestos para cada una de las dos hipótesis que se plantean en este bloque.

2.8.1.1. Problemas abiertos seleccionados para contrastar la H1

Para investigar la evolución en el aprendizaje de la MRPI, se lleva a cabo una valoración de las situaciones problemáticas propuestas dentro de la Unidad “Reacciones Químicas y Biomasa”, cuyos enunciados se recogen en los cuadros 2.5 y 2.6. Su diseño queda justificado en el siguiente capítulo.

PROBLEMA	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE I (PA-I)
P₁	<input type="checkbox"/> ¿Qué molécula "tiene" mayor energía la de glucosa o la de oxígeno?
P₂	<input type="checkbox"/> ¿Quién "tiene" mayor energía de formación, el dióxido de carbono que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende?
	<input type="checkbox"/> ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua?
P₃	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de CO ₂ ,
P₄	¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?
	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel?
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera?
P₇	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz?
P₈	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire se necesita para quemar etanol?
P₉	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un
P₁₀	proceso de gasificación, un gas que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas?
	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Éste es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?
P₁₁	
P₁₂-EXAMEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debida a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?

CUADRO 2.5. ENUNCIADOS DE LOS PROBLEMAS ABIERTOS QUE SE TRABAJARON EN LA UNIDAD DIDÁCTICA DURANTE LA FASE EXPERIMENTAL I.

PROBLEMA	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE II (PA-II)
P₁	<input type="checkbox"/> El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere?
P₂	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de dióxido de carbono, ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?
P₃	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?
P₄	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel?
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz?
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol?
P₇	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, un gas que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas?
P₈	<input type="checkbox"/> ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible?
P₉	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Éste es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?
P₁₀ EXAMEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?

CUADRO 2.6. ENUNCIADOS DE LOS PROBLEMAS ABIERTOS QUE SE TRABAJARON EN LA UNIDAD DIDÁCTICA DURANTE LA FASE EXPERIMENTAL II.

La evaluación de cada uno de los problemas se realiza para todas las variables metodológicas (VM), definidas en el modelo, y la de verbalización (VV) definida según el nivel de explicitación y elaboración de cada una de las variables metodológicas.

La valoración de cada una de ellas puede ser definida en cuatro niveles, desde el nivel 0 de no realización, hasta el nivel 3 de máxima corrección. Para la recogida de estos datos se utilizan, para cada problema, plantillas como la que muestra el cuadro 2.7.

VARIABLES	NIVEL	CONCRECION
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	<i>El análisis es prácticamente nulo, inconexo o sin sentido en la situación que se estudia.</i>
	Nivel 1	<i>El análisis de la situación es poco profundo, estudiando tan sólo algunos de los aspectos implicados.</i>
	Nivel 2	<i>Se analizan varios aspectos implicados pero de manera escasa.</i>
	Nivel 3	<i>Se analizan en profundidad las situaciones problemáticas posibles. Además se proponen restricciones.</i>
VM2 Emisión de hipótesis	Nivel 0	<i>No se plantea ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.</i>
	Nivel 1	<i>Se plantean hipótesis sin concretar relaciones.</i>
	Nivel 2	<i>Se plantean hipótesis con relaciones adecuadas aunque no se enuncien correctamente.</i>
	Nivel 3	<i>Se plantea una hipótesis clara de trabajo y se expresa correctamente.</i>
VM3 Elaboración de estrategia resolución	Nivel 0	<i>No se plantea ninguna estrategia o no es coherente.</i>
	Nivel 1	<i>Se proponen estrategias que no concuerdan con la hipótesis.</i>
	Nivel 2	<i>Se elabora una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.</i>
	Nivel 3	<i>Se explica claramente y de forma extensa la estrategia de trabajo. Incluso identifican y controlan las variables que intervienen.</i>
VM4 Resolución del problema	Nivel 0	<i>No se realiza ninguna resolución.</i>
	Nivel 1	<i>Se indican los pasos a seguir en su resolución, pero no se acompañan de ningún desarrollo.</i>
	Nivel 2	<i>Se propone una resolución, pero alguno de los pasos faltan o se cierra ya el problema sustituyendo algunos valores.</i>
	Nivel 3	<i>Se realiza una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.</i>
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	<i>No se realiza ningún análisis.</i>
	Nivel 1	<i>Se propone en el análisis un problema mal resuelto.</i>
	Nivel 2	<i>Se realiza un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis.</i>
	Nivel 3	<i>Se realiza el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También se realizan conclusiones personales.</i>
VV Variable de verbalización	Nivel 0	<i>NULA O MÍNIMA: El nivel de explicitación y elaboración es nulo o mínimo. El análisis es una reproducción de conceptos teóricos sin ninguna elaboración propia. La resolución, si la hace, se limita a escribir fórmulas y sustituir datos numéricos.</i>
	Nivel 1	<i>ESCASA O INSUFICIENTE: En al menos una o dos de las variables metodológicas se intenta elaborar explicaciones y desarrollos personalizados pero lo logra en un nivel mínimo o no se acomoda claramente a la situación planteada.</i>
	Nivel 2	<i>SATISFACTORIA: En tres o cuatro de las variables metodológicas se realiza un desarrollo claro y una explicación suficiente de la situación planteada.</i>
	Nivel 3	<i>EXTENSA: En al menos cuatro variables se alcanza el nivel máximo de elaboración, con explicaciones completas y claras y desarrollos personales originales y adecuados a la situación planteada.</i>

CUADRO 2.8. VALORACIÓN GENERAL EN NIVELES DE LAS ELABORACIONES DADAS POR LOS ALUMNOS EN LOS DIFERENTES PROBLEMAS ABIERTOS RESPECTO A LAS VARIABLES METODOLÓGICAS Y DE VERBALIZACIÓN.

2.8.1.2. Problemas cerrados seleccionados para contrastar la H2

Para el contraste de la H2, relacionada con capacidades a la hora de resolver problemas cerrados, se diseñan pruebas encaminadas a conocer el nivel de aprendizaje conseguido por ambos grupos de investigación en la resolución de este tipo de cuestiones. Son propuestas por los profesores responsables de los GCON y consensuadas con la profesora investigadora. Se tratan de pruebas estándar en la enseñanza de bachillerato que constan de problemas cerrados. Al contar la investigación de dos fases experimentales, cada una con un profesor del GCON diferente, las pruebas propuestas por estos son lógicamente diferentes, aunque abordan contenidos similares. Ambas propuestas se recogen en los cuadros 2.9 y 2.10.

PRUEBA DE PROBLEMAS CERRADOS PARA LA FASE I

(PC I)

Nombre.....Curso.....Edad.....

1. Cuando el cloro gaseoso (Cl_2) reacciona con el nitrato de plata, se forma cloruro de plata, pentóxido de dinitrógeno y oxígeno gaseoso (O_2). Se pide:
 - a) Escribe y ajusta la reacción química que tiene lugar
 - b) ¿Cuántos moles de pentóxido de dinitrógeno se obtendrán a partir de 6 moles de nitrato de plata?
 - c) ¿Cuántos gramos de cloruro de plata se obtendrán a partir de 33,974 g de nitrato de plata?
 - d) ¿Qué volumen de oxígeno gaseoso se desprende en el apartado anterior si se mide a 12°C y 799mm de Hg?

Masas atómicas: Ag = 107,87; N = 14,00; O = 16,00; Cl = 35,45
2. Una mezcla de 5 g de hierro (Fe) y 4 g de azufre (S) se calienta en una cápsula de porcelana hasta la producción de sulfuro de hierro (II). Calcula:
 - a) ¿Qué reactivo se encuentra en exceso? ¿En qué cantidad?
 - b) ¿Qué masa de FeS se formará?

Masas atómicas: S = 32,00; Fe = 55,85
3. El amoníaco reacciona con el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno y agua (todas las especies gaseosas). Determina:
 - a) El volumen de oxígeno en condiciones normales que se necesita para quemar 25 litros de amoníaco en las mismas condiciones.
 - b) El volumen de monóxido de nitrógeno medido a 20°C y 0,97atm obtenido al quemar esa cantidad de amoníaco.
 - c) La masa de agua obtenida al quemar los 25 litros de amoníaco.

Datos:

Masas atómicas: N = 14,00; O = 16,00; H = 1,01

CUADRO 2.9. PRUEBA ESCRITA DE PROBLEMAS CERRADOS DE REACCIONES QUÍMICAS. FASE I.

PRUEBA DE PROBLEMAS CERRADOS PARA LA FASE II

(PC II)

Nombre.....Curso.....Edad.....

1. La reacción de 500g de piritita que posee un 40% de FeS produce la siguiente reacción:



- a) Escribe y ajusta la ecuación.
 - b) Calcula el volumen de dióxido de azufre desprendido en c.n.
2. El ácido clorhídrico reacciona con el calcio y da cloruro de calcio e hidrógeno. Si se añadieron 2 litros de ácido de concentración 0,3M a 20 moles del alcalinotérreo, indica:
- a) ¿Cuál es el reactivo limitante?
 - b) ¿Cuántas moléculas de la sal se han obtenido?
3. En el proceso en el que el monóxido de carbono reacciona con el hidrógeno para dar metanol (CH_3OH) se desprenden 125 kJ/mol de metanol.
- a) Escribir y ajustar la ecuación termoquímica.
 - b) Si se añaden 89,6 litros de hidrógeno medidos a 40°C y 4atm ¿Cuál es la cantidad de calor generada?

Datos:

$M(\text{s}) = 32 \text{ g/mol}$ $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$ $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$ $M(\text{Fe}) = 54,5 \text{ g/mol}$

CUADRO 2.10. PRUEBA ESCRITA DE PROBLEMAS CERRADOS DE REACCIONES QUÍMICAS. FASE II.

Ambas pruebas incluyen aspectos relativos a la escritura correcta de una ecuación química y al manejo de la información que proporciona y que permite realizar cálculos estequiométricos. Además, PCII incluye la interpretación de aspectos energéticos de las ecuaciones termoquímicas y sus cálculos. Los diferentes procedimientos que se trabajan en cada cuestión de dichas pruebas se muestran en el cuadro 2.11.

Problema cerrado PC		Procedimiento
1 (a), 2, 3	1 (a), 2, 3	ESCRITURA Y AJUSTE DE UNA ECUACIÓN QUÍMICA
1 (b, c, d), 2 (b), 3 (a, b, c)	1 (b), 2 (b), 3 (b)	CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS
2 (a)	2 (a)	IDENTIFICACIÓN REACTIVO LIMITANTE Y EN EXCESO Y CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS
-	3 (a, b)	AJUSTE DE ECUACIÓN TERMOQUÍMICA Y CÁLCULOS ENERGÉTICOS

CUADRO 2.11. CORRELACIÓN ENTRE LOS PROBLEMAS CERRADOS EN AMBAS FASES Y LOS PROCEDIMIENTOS TRABAJADOS EN ELLAS.

2.8.2. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE DATOS DISEÑADOS PARA CONTRASTAR LAS HIPÓTESIS RELACIONADAS CON CONCEPTOS

La hipótesis H3 referida al cambio conceptual, comprende cinco subhipótesis. Tres referidas a cambios en el aprendizaje de conceptos relacionados con reacciones químicas (H3.1, H3.2 y H3.5) y dos al aprendizaje de conceptos medioambientales (H3.3 y H3.4). Se diseñan unos cuestionarios tipo test que permiten indagar las concepciones de los alumnos en relación a los conocimientos de Química (TQ) y a los de medioambiente (TMA). Para recordar las subhipótesis y relacionarlas con los instrumentos utilizados se puede observar el esquema de la figura 2.3.

Los test de conocimientos químicos varían en el punto inicial y final de cada fase experimental y entre las fases por lo que los TQ son diferentes para cada momento como se explica en los apartados 2.8.2.1 y 2.8.2.2.

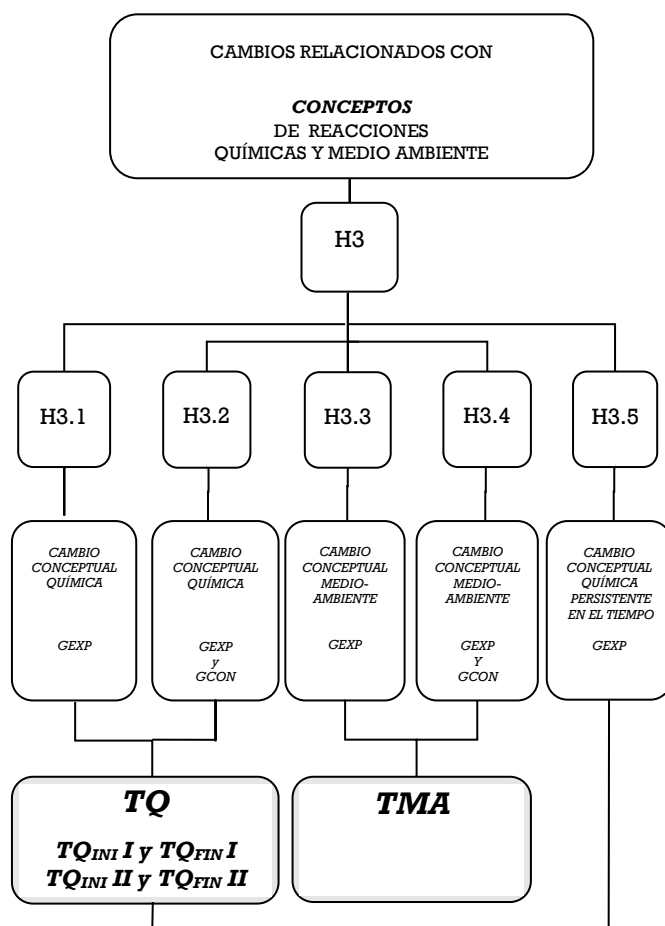


FIGURA 2.3. RELACIÓN ENTRE LAS SUBHIPÓTESIS 3.1 A 3.5 Y LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN SU CONTRASTACIÓN.

2.8.2.1. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 3.1, 3.2 y 3.5 relacionadas con los conceptos sobre reacciones químicas

Con la finalidad de contrastar las hipótesis relacionadas con los conceptos curriculares sobre reacciones químicas, se elaboran cuestionarios teniendo en cuenta las concepciones alternativas de éstos (Anexo I). El estudio se lleva a cabo en varios momentos de la investigación: antes del desarrollo de la Unidad Didáctica, después del proceso y, por último, transcurrido unos meses desde el final del curso académico. Así, el test de conceptos de Química (TQ) se denomina TQ_{INI} para el momento inicial y TQ_{FIN} para el final, utilizado además para comprobar la persistencia.

Las pruebas iniciales tienen como finalidad determinar el nivel de conocimiento de tipo conceptual de las muestras investigadas así como las concepciones alternativas. Éstas sirven para verificar la homogeneidad inicial de los GEXP y GCON (H0.2), comparar los conocimientos del GEXP en los momentos inicial y final del proceso de enseñanza-aprendizaje (H3.1), comparar el cambio conceptual de los GEXP y GCON (H3.2) y comprobar la persistencia del cambio conceptual a lo largo del tiempo (H3.5).

Las pruebas finales se diseñan de forma que los aspectos abordados se correspondan con los planteados en el test inicial, haciendo viable la comparación de los mismos. Así, se proponen las mismas cuestiones en ambos momentos u otra final diferente que se correlacione fácilmente con la inicial. Los estudios realizados en la fase previa a la investigación muestran que los estudiantes, principalmente antes de iniciar el proceso de enseñanza-aprendizaje, contestan con mayor facilidad a cuestiones donde los discriminantes ya están preseleccionados. Se decide así que ambas pruebas consistan en cuestionarios cerrados, con ítems de opción múltiple, entre las que se recogen las concepciones alternativas indicadas en la bibliografía. Para no perder información, se pide en la mayoría de las cuestiones un razonamiento de su respuesta, lo que permite profundizar más en sus concepciones.

Los cuestionarios utilizados en ambas fases son similares, aunque se introducen algunas variaciones en la fase II para conseguir resultados más claros o más información. Así, para la fase I se utiliza el TQ_{INI} I y TQ_{FIN} I y para la fase II TQ_{INI} II y TQ_{FIN} II. En los cuadros 2.12 a 2.15 se muestran estas pruebas y a continuación se justifican tanto la selección de los ítems de los test como las modificaciones introducidas de una fase experimental a otra.

TEST INICIAL DE CONCEPTOS DE REACCIONES QUÍMICAS.

FASE I

(TQ INI I)

Nombre.....Curso.....Edad.....

1. ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?

- a) Cambia de estado (a vapor).
- b) Se transforma en calor.
- c) Se transforma en otras sustancias distintas.
- d) Desaparece poco a poco.
- e) Otras:.....

Porque.....
.....

2. ¿Se puede formar N_2O_5 juntando cantidades iguales de N_2 y O_2 ?

- a) No, necesito un átomo más de Oxígeno, por tanto más cantidad de oxígeno.
- b) Sí, si las condiciones de la reacción lo permiten.
- c) No, debería formarse N_2O_2 o NO .
- d) Sí, siempre que no exploten.
- e) Otra:

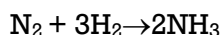
Porque.....
.....

3. Un estudiante calienta 6g de cinta de magnesio en una cápsula de porcelana y la quema hasta que se forma un polvo blanco. Al final del experimento el estudiante pesa el magnesio quemado y observa que la masa es 10g. ¿Por qué la masa ha aumentado?

- a) El oxígeno del aire se ha mezclado con el magnesio, y por eso la masa aumenta.
- b) Cuando el magnesio se calienta se expande, por eso aumenta la masa.
- c) El resultado es imposible. La masa no puede aumentar, se conserva.
- d) El magnesio reaccione con el oxígeno del aire y por eso aumenta la masa.
- e) El magnesio gana calor de la llama y por eso aumenta la masa.
- f) Otra:

Porque.....
.....

4. ¿Cuántos moles de amoníaco pueden producirse a partir de 12 moles de H_2 según la ecuación:



.....Porque.....
.....
.....

1/4

5. La reacción de formación de metano a partir de sus elementos viene dada por la ecuación $C(s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$. Si parto de 100g de C y los hago reaccionar con un exceso de hidrógeno ¿cuántos gramos de metano obtengo?

- a) 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1.
- b) Más de 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1 pero tener el metano mayor masa molar.
- c) Menos de 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1 pero ser el metano gaseoso y el C sólido.
- d) Exactamente la suma total de gramos iniciales de C y los iniciales de H_2 .

Porque.....
.....

6. Elige una sustancia y represéntala en estado sólido, líquido y gaseoso.



SÓLIDO



LÍQUIDO

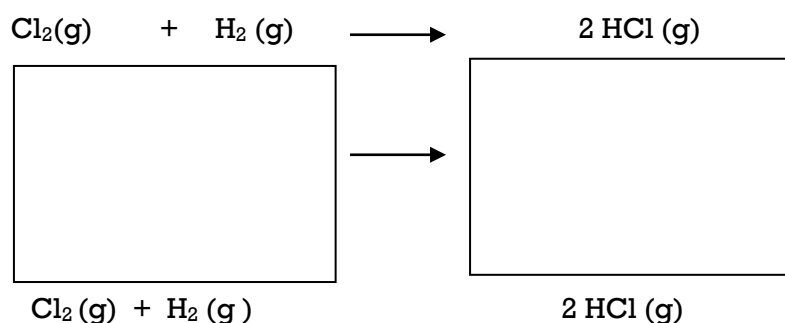


GASEOSO

¿Qué sustancia has escogido?.....

7. Si representamos un átomo de oxígeno como \bigcirc , dibuja un recipiente que contenga 3 moléculas de O_2 .

8. Si representamos un átomo de cloro por \bullet y uno de hidrógeno por \bigcirc , representa gráficamente la siguiente reacción química:



Porque.....
.....

9. Cuando algún combustible arde se produce:



- a) Siempre agua y dióxido de carbono.
- b) Siempre agua.
- c) Siempre dióxido de carbono.
- d) Distintas sustancias dependiendo del combustible (no siempre es agua y/o dióxido de carbono).
- e) Otra:.....

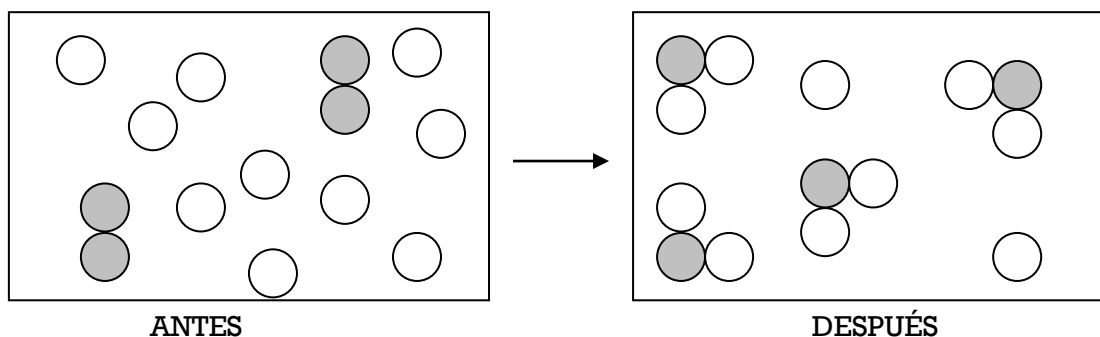
Porque.....

10. ¿ El oxígeno que interviene en una combustión posee energía química?

- a) Si, pues es un elemento químico.
- b) No, pues es una molécula inorgánica.
- c) Si, por tener enlaces químicos.
- d) No, no es el combustible (que es el que desprende su energía al quemarse).
- e) Otra:.....

Porque.....

11. Si un átomo de un elemento "X" se representa por  y uno de un elemento "Y" se representa por , observa los gráficos siguientes y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.



La ecuación química que representa la reacción es:

- a) $X + 2Y \rightarrow Y_2X$
- b) $X_2 + Y \rightarrow XY_2$
- c) $2X + 1/2 Y_2 \rightarrow YX_2$
- d) $X + Y \rightarrow YX$
- e) $2X + Y_2 \rightarrow Y_2X + X$
- f) Otra:.....

12. Escribe tres palabras relacionadas con la energía:

1..... 2..... 3.....

Escribe una frase con cada una de ellas donde quede reflejada esta relación:

1.

2.

3.

13. ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?

- a) No, realmente se degrada. La conservación es una situación ideal.
- b) Sí, excepto en el caso de pérdidas por calor.
- c) Unas energías se conservan (energías renovables) y otras no (no renovables).
- d) Sí, en cualquier situación.
- e) No, porque se transforma.
- f) No, pues hay realmente un consumo de energía y un gasto energético.
- g) Otro:.....

Porque.....
.....

14. ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?

- a) Se va perdiendo.
- b) Se transforma en energías menos útiles.
- c) Se convierte en energías más contaminantes.
- d) Pierde calidad y riqueza.

Porque.....
.....

.....

4/4

CUADRO 2.12. TEST INICIAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE I.

TEST FINAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE I

(TQ *FIN I*)

Nombre.....Curso.....Edad.....

1 ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?

- a) Cambia de estado (a vapor).
- b) Se transforma en calor.
- c) Se transforma en otras sustancias distintas.
- d) Desaparece poco a poco.
- e) Otras:.....

Porque.....
.....

2 ¿Se puede formar N_2O_5 juntando cantidades iguales de N_2 y O_2 ?

- a) No, necesito un átomo más de Oxígeno, por tanto más cantidad de oxígeno.
- b) Sí, si las condiciones de la reacción lo permiten.
- c) No, debería formarse N_2O_2 o NO .
- d) Sí, siempre que no exploten.
- e) Otra: :.....

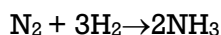
Porque.....
.....

3 Un estudiante calienta 6g de cinta de magnesio en una cápsula de porcelana y la quema hasta que se forma un polvo blanco. Al final del experimento el estudiante pesa el magnesio quemado y observa que la masa es 10g. ¿Por qué la masa ha aumentado?

- a) El oxígeno del aire se ha mezclado con el magnesio, y por eso la masa aumenta.
- b) Cuando el magnesio se calienta se expande, por eso aumenta la masa.
- c) El resultado es imposible. La masa no puede aumentar, se conserva.
- d) El magnesio reaccione con el oxígeno del aire y por eso aumenta la masa.
- e) El magnesio gana calor de la llama y por eso aumenta la masa.
- f) Otra: :.....

Porque.....
.....

- 4 Cuántos moles pueden producirse a partir de 12 moles de H_2 según la ecuación:



.....porque.....

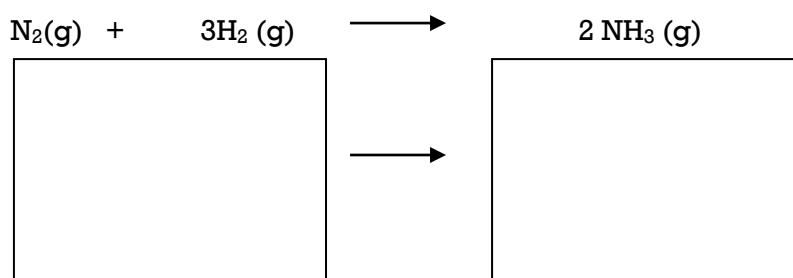
- 5 La reacción de formación de metano a partir de sus elementos viene dada por la ecuación $C(s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$. Si parto de 100g de C y los hago reaccionar con un exceso de hidrógeno, ¿cuántos gramos de metano obtengo?

- a) 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1.
- b) Más de 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1 pero tener el metano mayor masa molar.
- c) Menos de 100g por ser la relación entre el C y el metano 1:1 pero ser el metano gaseoso y el C sólido.
- d) Exactamente la suma total de gramos iniciales de C y los iniciales de H_2 .

Porque.....

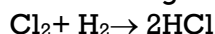
- 6 Si representamos un átomo de carbono por ● y uno de oxígeno por ○
 Representa gráficamente un recipiente lleno de CO_2 (g).

- 7 Si representamos un átomo de nitrógeno ● por y uno de hidrógeno por ○
 Representa gráficamente la siguiente reacción química:

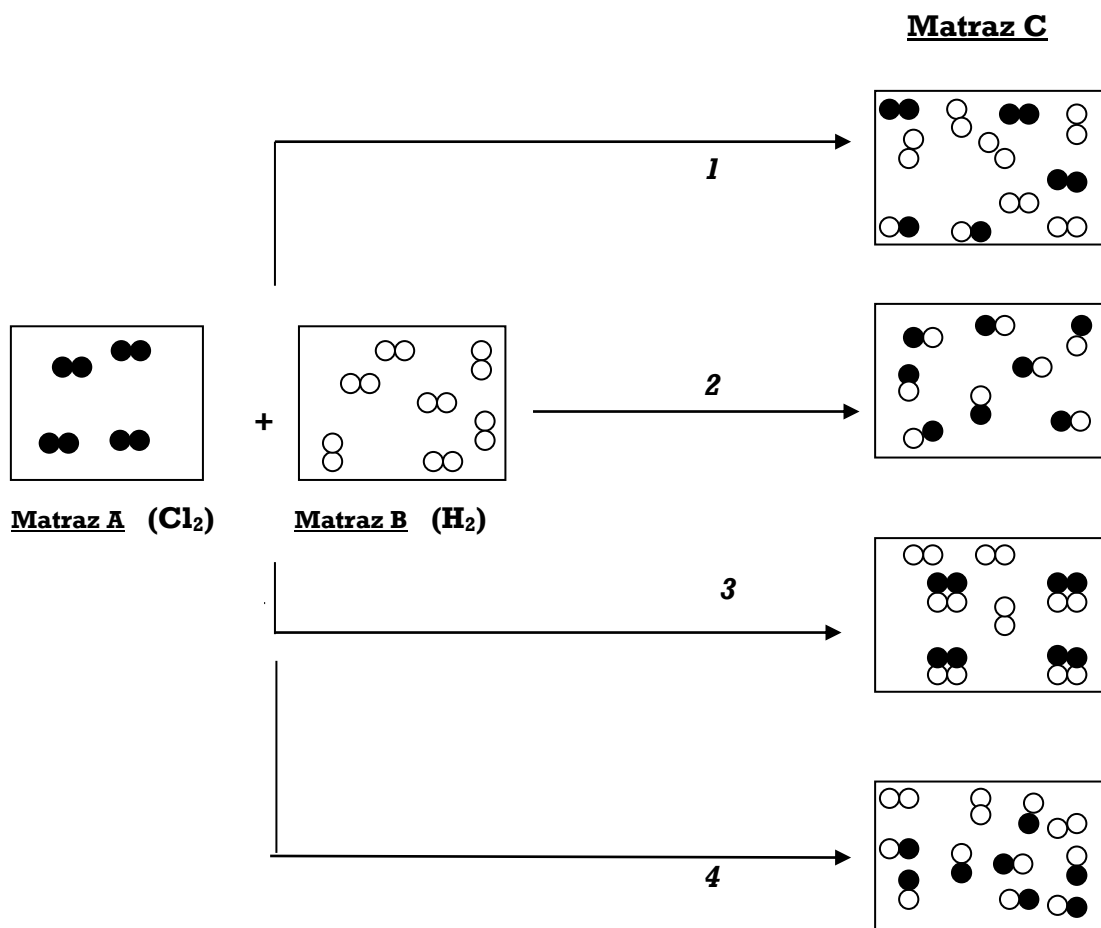


Porque.....

- 8 Tenemos dos matraces A y B que contienen unas cantidades de Cloro (Cl_2) e Hidrógeno (H_2) respectivamente. Juntamos los dos gases en un solo matraz C y se produce cloruro de hidrógeno (HCl) según la reacción siguiente:



Indica que matraz representa dicha transformación:



El n°porque.....
.....

- 9 Qué tipo de reacción es la combustión?.

- Endotérmica pues el sistema consume energía en forma de calor.
- Exotérmica pues la reacción es espontánea.
- Endotérmica, pues se necesita energía térmica inicial para que se produzca (ej. llama de una cerilla, una chispa,...).
- Exotérmica pues el sistema desprende energía en forma de calor.
- Otra:.....

Porque.....
.....

10 Cuando algún combustible arde se produce:



- a) Siempre agua y dióxido de carbono.
- b) Siempre agua.
- c) Siempre dióxido de carbono.
- d) Distintas sustancias dependiendo del combustible (no siempre es agua y/o dióxido de carbono).
- e) Otra:.....

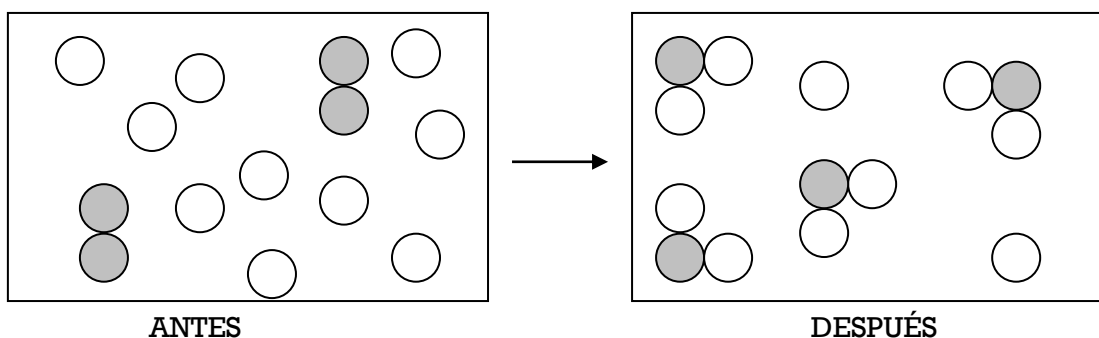
Porque.....
.....

11 El oxígeno (O₂) que interviene en una combustión, ¿posee energía química asociada?

- a) Si, pues es un elemento químico.
- b) No, pues es una molécula inorgánica.
- c) Si, por tener enlaces químicos.
- d) No, no es el combustible (que es el que desprende su energía al quemarse).
- e) Otra:.....

Porque.....
.....

12 Si un átomo de un elemento X se representa por  y uno de un elemento Y se representa por , observa los gráficos siguientes y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.



La ecuación química que representa la reacción es:

- a) $X + 2Y \rightarrow Y_2X$
- b) $X_2 + Y \rightarrow XY_2$
- c) $2X + 1/2 Y_2 \rightarrow YX_2$
- d) $X + Y \rightarrow YX$
- e) $2X + Y_2 \rightarrow Y_2X + X$
- f) Otra:.....

13 Escribe tres palabras relacionadas con la energía:

1..... 2..... 3.....

Escribe una frase con cada una de ellas donde quede reflejada esta relación:

1.

2.

3.

14 Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?

- a) No, realmente se degrada. La conservación es una situación ideal.
- b) Sí, excepto en el caso de pérdidas por calor.
- c) Unas energías se conservan (energías renovables) y otras no (no renovables).
- d) Sí, en cualquier situación.
- e) No, porque se transforma.
- f) No, pues hay realmente un consumo de energía y un gasto energético.
- g) Otro:.....

Porque.....
.....

15 ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?

- a) Se va perdiendo.
- b) Se transforma en energías menos útiles.
- c) Se convierte en energías más contaminantes.
- d) Pierde calidad y riqueza.

Porque.....
.....

5/5

CUADRO 2.13. TEST FINAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE I.

Según se ha indicado los test anteriores se modifican ligeramente para la fase II como se muestran a continuación:

TEST INICIAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE II

(TQ INI II)

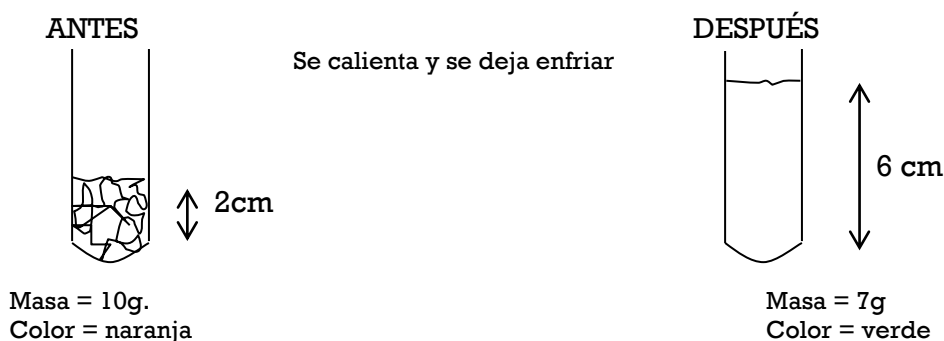
Nombre.....Curso.....Edad.....

1 ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?

- a) Cambia de estado (a vapor).
- b) Se transforma en calor.
- c) Se transforma en otras sustancias distintas.
- d) Desaparece poco a poco.
- e) Otras:.....

Porque.....

2 Un alumno echa un líquido naranja en un tubo de ensayo cuya masa ha sido medida previamente y señala la altura que alcánzale líquido dentro del tubo. Lo calienta y lo deja enfriar. Las diferencias entre lo observado antes y después de calentar el tubo quedan reflejadas en el esquema siguiente:



El alumno piensa que ha habido un cambio químico, ¿apoyan tus datos esta conclusión? Razona tu respuesta.

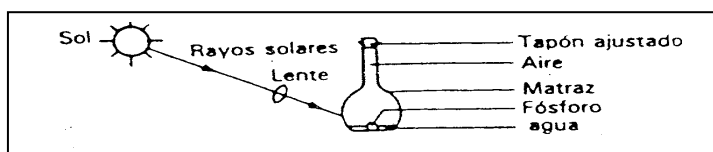
.....porque.....

3 Un estudiante enciende con una cerilla 6g de cinta de magnesio en una cápsula de porcelana y la quema hasta que se forma un polvo blanco. Al final del experimento el estudiante pesa el magnesio quemado y observa que la masa es 10g. ¿Por qué la masa ha aumentado?

- a) El oxígeno del aire se ha mezclado con el magnesio, y por eso la masa aumenta.
- b) Cuando el magnesio se calienta se expande, por eso aumenta la masa.
- c) El resultado es imposible. La masa no puede aumentar, se conserva.
- d) El magnesio reaccione con el oxígeno del aire y por eso aumenta la masa.
- e) El magnesio gana calor de la llama y por eso aumenta la masa.

Porque.....

- 4 Un trozo de fósforo se coloca en un matraz como indica la figura.

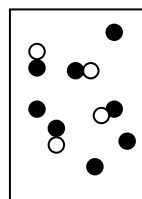
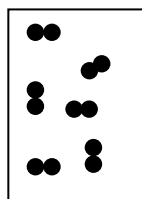
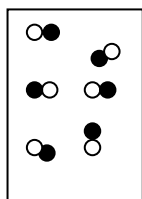
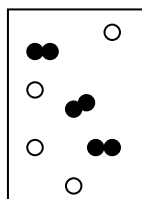


La masa del matraz y de su contenido es de 205g. Los rayos solares están dirigidos hacia el fósforo, que se inflama. El humo blanco producido se disuelve en el agua poco a poco. Una vez enfriado, se pesa de nuevo el matraz y su contenido. ¿Cuánto crees que pesará?:

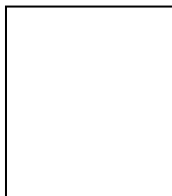
- más de 205g.
- 205g.
- menos de 205g.
- no dispongo de información suficiente para responder.

Porque.....

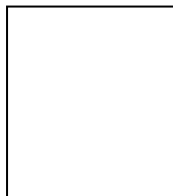
- 5 De los siguientes diagramas indica cuál corresponde a un elemento, compuesto o mezcla:



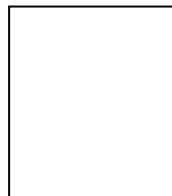
- 6 Si una molécula de agua la representamos por \bigcirc , dibuja esta sustancia en las siguientes situaciones:



-20°C



25°C

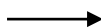


120°C

- 7 Si representamos un átomo de cloro por \bullet y uno de hidrógeno por \bigcirc , representa gráficamente la siguiente reacción química: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$



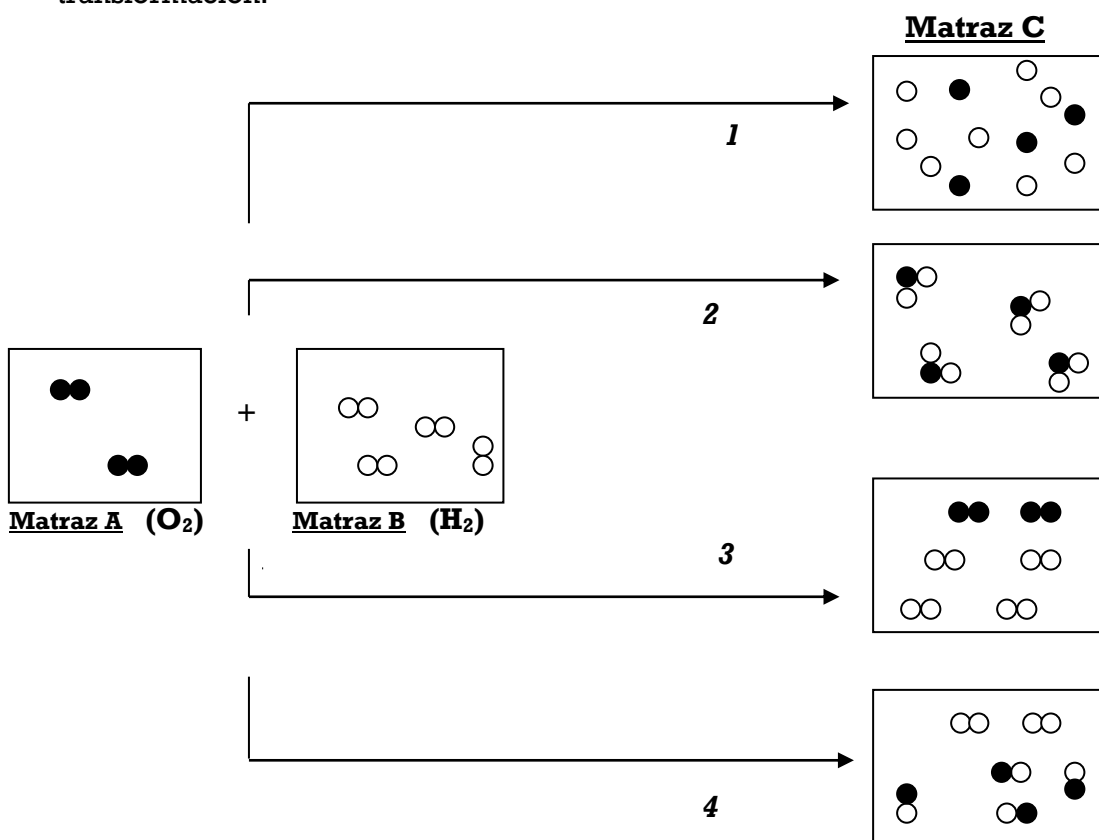
$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$



$2 \text{HCl}(\text{g})$

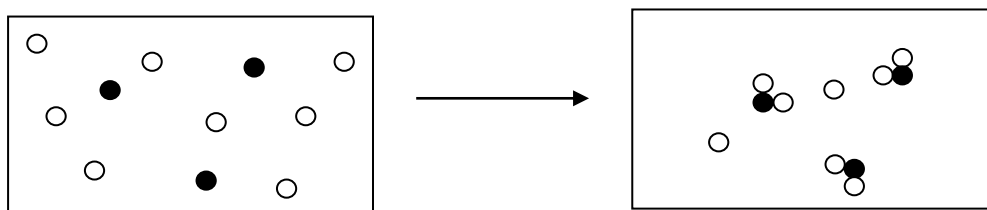
Porque.....

- 8 Tenemos dos matraces A y B que contienen oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) respectivamente. Juntamos los dos gases en un solo matraz C y los hacemos reaccionar hasta producir agua (H_2O). Indica que matraz representa dicha transformación:



El.....porque.....

- 9 La reacción del elemento X (●) con el elemento Y (○) se representa con el siguiente diagrama:



¿Qué ecuación describe esta reacción?:

- a) $3 X + 8 Y \longrightarrow X_3Y_8$
- b) $3 X + 6 Y \longrightarrow X_3Y_6$
- c) $X + 2 Y \longrightarrow XY_2$
- d) $3 X + 8 Y \longrightarrow 3XY_2 + 2Y$
- e) $X + 4 Y \longrightarrow XY_2$

La.....porque.....

- 10 Cuando se calientan 2g de cinc y 1g de azufre juntos no queda prácticamente nada de cinc ni de azufre, una vez que se ha formado el compuesto sulfuro de cinc. ¿Qué ocurriría si 2g de cinc se calientan con 2g de azufre?.

- El sulfuro de cinc, contendrá dos veces más azufre que cuando se calientan 2g de cinc y un gramo de azufre.
- Se formará como mucho el doble de sulfuro de cinc.
- Se formará la misma cantidad de sulfuro de cinc y quedará algo de azufre sin reaccionar.
- Se formará la misma cantidad de sulfuro de cinc y quedará algo de cinc sin reaccionar.

Porque.....
.....

- 11 La reacción de formación de metano a partir de sus elementos viene dada por la ecuación $C(s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$. Si tengo de 100g de C y los hago reaccionar con un exceso de hidrógeno, ¿cuándo concluye la reacción?

- Cuando obtengo 100g de metano.
- Cuando se gastan 100g de carbono y 200 de hidrógeno.
- Cuando se gasta el carbono.
- Cuando ambos reactivos se agotan.

Porque.....
.....

- 12 Señala con una X donde proceda:

¿Puedes ver H_2O cuando se quema lo siguiente?	Sí	No	No lo sé	JUSTIFICACIÓN
Papel				
Carbón				
Alcohol				
Hierro				
Azufre				
Butano				
¿Puedes ver CO_2 cuando se quema lo siguiente?	Sí	No	No lo sé	JUSTIFICACIÓN
Papel				
Carbón				
Alcohol				
Hierro				
Azufre				
Butano				

- 13 Qué tipo de reacción es la combustión?

- Endotérmica pues el sistema consume energía en forma de calor.
- Exotérmica pues la reacción es espontánea.
- Endotérmica, pues se necesita energía térmica inicial para que se produzca (ej. llama de una cerilla, una chispa,...).
- Exotérmica pues el sistema desprende energía en forma de calor.
- Otra:.....

Porque.....
.....

14 Al quemar carbón la reacción que tiene lugar es: $C + O_2 \rightarrow CO_2$, desprendiéndose energía, ¿de dónde proviene dicha energía?

- a) De la que inicialmente se suministra con la llama.
- b) De la energía almacenada en el carbón.
- c) De las sustancias finales, por ser distintas de las iniciales.
- d) De los enlaces que se rompen y se forman en las sustancias iniciales y finales

Porque.....
.....

15 Escribe tres palabras relacionadas con la energía:

1..... 2..... 3.....

Escribe una frase con cada una de ellas donde quede reflejada esta relación:

1.

2.

3.

16 ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?

- a) No, porque en todos los procesos reales la energía se degrada.
- b) Sí, excepto si se desprende calor.
- c) No, sólo cuando intervienen energías renovables.
- d) Sí, en cualquier proceso
- e) No, porque en todos los procesos energéticos hay transformaciones de energía.

Porque.....
.....

17 ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?

- a) Que en cualquier proceso se pierde energía.
- b) Que en cualquier proceso siempre se obtienen tipos de energía no deseables.
- c) Que en cualquier proceso siempre se obtienen tipos de energía más contaminantes.
- d) Que en cualquier proceso la energía pierde riqueza.
- e) Otro:.....

Porque.....
.....

5/5

CUADRO 2.14. TEST INICIAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE II.

TEST FINAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE II**(TQ FIN II)**

Nombre.....Curso.....Edad.....

1. ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?

- a) Cambia de estado (a vapor).
- b) Se transforma en calor.
- c) Se transforma en otras sustancias distintas.
- d) Desaparece poco a poco.
- e) Otras:.....

Porque.....

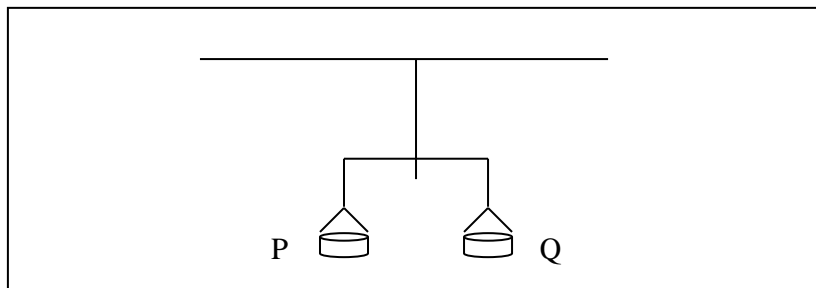
.....

2. Se calienta un tubo que contiene un compuesto sólido de color amarillo-anaranjado. Se observan durante el proceso unos vapores incoloros y obteniéndose un líquido de aspecto metálico (plateado), ¿qué crees que ha ocurrido? ¿Qué datos apoyan tu conclusión?

.....porque:.....

.....

3. Se ha colocado una pequeña porción de estropajo de hierro en el platillo P y se han colocado pesas en el platillo Q hasta equilibrar la balanza



Se retira el estropajo de hierro y se quema al aire. Se forma un polvo negro y se recoge con cuidado, depositándolo en el platillo. ¿Qué crees que ocurrirá en la balanza?

Explica tu respuesta:

- a) Se inclina hacia el lado del P.
- b) Se inclina hacia el lado del Q.
- c) Se quedan equilibrados como al principio.
- d) No tengo datos suficientes para saberlo.
- e) Otras:

Porque.....

.....

.....

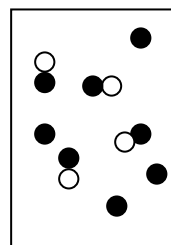
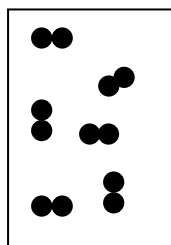
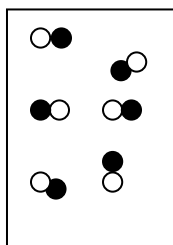
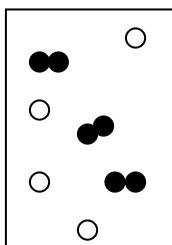
1/5

4. Un coche de 1000kg de masa se llena con 50kg de gasolina. Se conduce el coche hasta que se vacía el depósito de gasolina. El coche pesa de nuevo 1000kg , ¿cuál es aproximadamente la masa de los gases que ha expulsado el tubo de escape durante el trayecto?

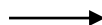
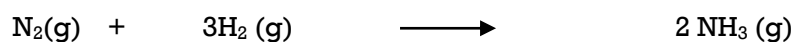
- a) Más de 50kg.
- b) 50kg.
- c) Menos de 50kg.
- d) No dispongo de información suficiente para responder.
- e) Otras:.....

Porque.....

5. De los siguientes diagramas indica cuál corresponde a un elemento, compuesto o mezcla:



6. Si representamos un átomo de nitrógeno ● por y uno de hidrógeno por ○, representa gráficamente la siguiente reacción química:



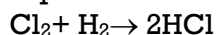
Explica tu representación:

.....

.....

.....

7. Tenemos dos matraces A y B que contienen unas cantidades de cloro (Cl_2) e hidrógeno (H_2) respectivamente. Juntamos los dos gases en un solo matraz C y los hacemos reaccionar hasta producir cloruro de hidrógeno (HCl).



Indica que matraz representa dicha transformación:

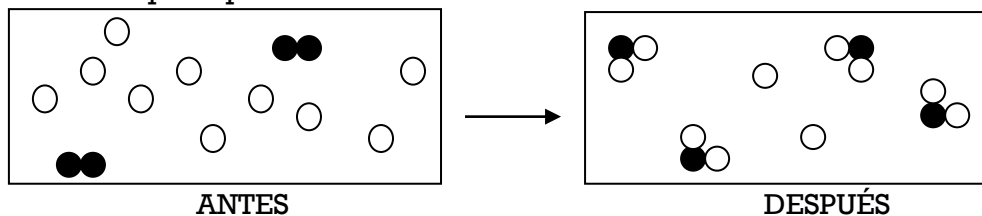
Matraz C

Matraz A (Cl_2) **Matraz B (H_2)**

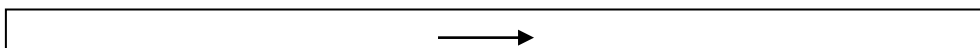
1 2 3 4 5

El nº... porque.....

8. Un átomo de un elemento X se representa por ● y uno de un elemento Y se representa por ○. Observa los gráficos siguientes y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.



La ecuación química que representa la reacción es:



9. ¿Se puede formar N_2O_5 juntando cantidades iguales de N_2 y O_2 ?

- a) No, necesito tres átomos más de Oxígeno, por tanto más cantidad de oxígeno.
- b) Sí, si las condiciones de la reacción lo permiten.
- c) No, debería formarse N_2O_2 o NO .
- d) Otra:.....

Porque.....
.....

10. La reacción de formación de metano a partir de sus elementos viene dada por la ecuación $C(s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$. Si parto de 100g de C y los hago reaccionar con un exceso de hidrógeno, ¿cuándo concluye la reacción?

- a) Cuando obtengo 100g de metano.
- b) Cuando se gastan 100g de carbono y 200g de hidrógeno.
- c) Cuando se gasta el carbono.
- d) Cuando se gasta el hidrógeno.
- e) Cuando ambos reactivos se agotan.

Porque.....
.....

11. Cuando algún combustible arde se produce:

- a) Siempre agua y dióxido de carbono.
- b) Siempre agua.
- c) Siempre dióxido de carbono.
- d) Distintas sustancias dependiendo del combustible (no siempre es agua y/o dióxido de carbono).
- e) Otra:.....

Porque.....
.....

12. Las reacciones de combustión ¿Son siempre exotérmicas?

- a) Sí, siempre.
- b) Sólo en las que se observa una llama.
- c) No, algunas son endotérmicas ya que se necesitan una cerilla, chispa, etc., para producirse.
- d) Sólo cuando se desprenden gases.
- e) Otra:.....

Porque.....
.....

13. En una cocina quemamos butano en presencia de oxígeno y se desprende energía, ¿qué papel tiene el oxígeno en ese desprendimiento?

- a) La energía se encuentra acumulada en los enlaces del butano, por ser éste el combustible, y el oxígeno interviene en la reacción rompiendo esos enlaces y liberando la energía almacenada en él.
- b) La energía proviene solamente de los enlaces del butano pues el oxígeno es una molécula inorgánica que no interviene desde el punto de vista energético pero sí material.
- c) La energía desprendida proviene de la formación de los óxidos del C e H del butano con el oxígeno, descontando la requerida para romper los enlaces en las moléculas iniciales.
- d) La energía desprendida es la de la ruptura de los enlaces en el butano y en el oxígeno, tras descontar la requerida para formar las nuevas moléculas.
- e) Otra:.....

Porque.....
.....

14. Escribe tres palabras relacionadas con la energía:

1..... 2..... 3.....

Escribe una frase con cada una de ellas donde quede reflejada esta relación:

1.
2.
3.

15. ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?

- a) No, porque en todos los procesos reales la energía se degrada.
- b) Sí, excepto si se desprende calor.
- c) No, sólo cuando intervienen energías renovables.
- d) Sí, en cualquier proceso
- e) No, porque en todos los procesos energéticos hay transformaciones de energía.
- f) Otra:.....

Porque.....
.....

16. ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?

- a) Que en cualquier proceso se pierde energía.
- b) Que en cualquier proceso siempre se obtienen tipos de energía no deseables.
- c) Que en cualquier proceso siempre se obtienen tipos de energía más contaminantes.
- d) Que en cualquier proceso la energía pierde riqueza.
- e) Otra:.....

Porque.....
.....

5/5

CUADRO 2.15. TEST FINAL DE CONCEPTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS. FASE II.

En la fase previa a la experimentación y, tomando como referencia las concepciones alternativas sobre reacciones químicas que se habían recopilado (Anexo I), se realizan cuestionarios piloto y entrevistas individuales a los alumnos sobre los contenidos que se iban a incluir en la Unidad Didáctica.

Así, se elaboran las pruebas para la fase I que luego se modifican parcialmente en la fase II. Como se ha señalado anteriormente, los cuestionarios consisten, mayoritariamente, en ítems cerrados, de opción múltiple para facilitar la respuesta por parte del alumnado y su comparación con los resultados de otras investigaciones. Algunas cuestiones se han tomado de otros autores, modificadas parcialmente o, elaboradas específicamente para la investigación a partir de las concepciones alternativas como se muestra a continuación.

- C1 TQ_{INI} I (Andersson, 1990; BouJaoude, 1991; Hesse & C. W. Anderson, 1992; Watson, Prieto & Dillon, 1997).
- C2, 4 y 8 TQ_{INI} I (Garnett, Garnett & Hackling, 1995).
- C2 y C5 TQ_{INI} I, (Milne, 1999; Olmsted, 1999).
- C3 TQ_{INI} I, (Watson et al., 1997).
- C10 TQ_{INI} I, (Boo, 1998).
- C11 TQ_{INI} I, (Nurrenbern & Pickering, 1987).
- C12 TQ_{INI} I, (Gallastegui & Lorenzo, 1993).
- C10 TQ_{INI} II, (Holding, 1985).

Como ejemplo de la mencionada reelaboración se muestra la cuestión 1 de ambas fases (cuadro 2.16).

¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?	
a) Cambia de estado (a vapor).	← Andersson (1990), Watson et al. (1997).
b) Se transforma en calor.	← BouJaoude (1991).
c) Se transforma en otras sustancias distintas.	← Opción correcta.
d) Desaparece poco a poco.	← Andersson (1990), Watson et al. (1997)
e) Otras:.....	
La....porque.....	
.....	

CUADRO 2.16. EJEMPLO DE CUESTIÓN ELABORADA PARA LA INVESTIGACIÓN

En el apartado 4.1 de resultados se analizan en profundidad las concepciones alternativas que se detectan en el momento inicial en ambos grupos GEXP y GCON y su coherencia con los datos recogidos en la bibliografía.

En el cuadro 2.17 se observa cómo se relacionan las cuestiones de los test inicial y final, en ambas fases, con los conocimientos que se quieren estudiar. Estas conexiones son las que posteriormente ayudarán a analizar estadísticamente la evolución en la construcción de los conocimientos por parte de los alumnos.

Cuestión en <i>TQ_{INI I}</i>	Cuestión en <i>TQ_{FIN I}</i>	Concepción alternativa relacionada con ...	Cuestión en <i>TQ_{INI II}</i>	Cuestión en <i>TQ_{FIN II}</i>
C1	C1	PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO	C1, C2	C1,C2
C3	C3	CONSERVACIÓN DE LA MASA	C3, C4	C3,C4
C6 C7, C8,C11	C6, C7,C8,C12	REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	C5, C6 C7, C8,C9	C5 C6, C7,C8
C2,C4,C5	C2,C4,C5	RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS. REACTIVO LIMITANTE.	C10,C11	C9, C10
C9	C10	COMBUSTIÓN	C12	C11
C10	C9,C11	ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO	C13,C14	C12, C13
C12C13C14	C13C14C15	ENERGÍA ,CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA	C15C16C17	C14C15C16

CUADRO 2.17. CORRELACIÓN ENTRE LAS CUESTIONES DE LOS TEST INICIAL Y FINAL EN AMBAS FASES EN BASE A LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS ABORDADAS EN ELLAS.

Los cambios de los ítems propuestos entre la fase I y la fase II se han debido, por una parte, a la necesidad de eliminar información repetitiva que quedaba suficientemente recogida en otros ítems y, por otra, a la de ampliar cierta información que aportase otros puntos de vista para algunas concepciones.

Si se analiza el enunciado de la cuestión 2 del test $TQ_{INI I}$ se observa que arroja información sobre interpretación de fórmulas, coeficientes estequiométricos y, reactivo limitante y en exceso. Aun pudiendo resultar útil, ya se recoge una información parecida e incluso más desgranada en las preguntas 5, 8 y 11, lo que resulta más adecuado para el estudio de las concepciones de partida de los alumnos. Por ello, al abordar los materiales para la siguiente fase, se decide sustituirla en el test inicial por otra que aborde la información de las concepciones iniciales del alumno sobre reactivos limitante y en exceso de forma más directa y, reservar esta

cuestión para el momento final. Así, la cuestión de la primera fase sobre reactivo limitante que se mantiene entre todas es la C5 (TQ_{INI}I), que en la segunda fase empírica pasa a ser la C11 (TQ_{INI}II). Además sobre este aspecto concreto se añade en la segunda fase la C10 (TQ_{INI}II).

En la fase II aparece como nueva la C2 (TQ_{INI}II) como apoyo a los datos de la cuestión 1, en ambos momentos del proceso, referida a la identificación de reacciones químicas frente a procesos físicos.

Las cuestiones en las que los alumnos deben aplicar algún tipo de resolución, como es la C4 (TQ_{INI}I), no resultan útiles pues casi todos los alumnos la dejaban en blanco. Por ello se elimina para la segunda fase.

En cuanto a contenidos relativos a la conservación de la masa, en ambas fases se utiliza la misma cuestión inicial, relacionada con la reacción de combustión del magnesio (C3 de TQ_{INI}I y C3 TQ_{INI}II). Se decide, además, apoyarla en la segunda fase con otra que aporte datos sobre la importancia de diferenciar el tipo de sistema en estudio (abierto, cerrado o aislado). Esta propuesta surge al observar el problema de los alumnos cuando se cambia el tipo de sistema. Éstos no identifican correctamente la conservación de la masa en recipientes abiertos y tienen gran dificultad para hacerlo en recipientes cerrados, en reacciones en las que intervienen gases. Se mantiene en la segunda fase la C3 (TQ_{INI}II) con un sistema abierto y con la intervención de un gas (el oxígeno) y un sólido (el magnesio). Se añade, además, la C4 (TQ_{INI}II) en la que un sólido (el fósforo) se transforma en una sustancia gaseosa que se disuelve, todo ello en un matraz cerrado.

Las cuestiones C6, C7, C8 y C11 basadas en la interpretación microscópica se mantienen, con ligeros cambios, debido a la gran cantidad de información que se obtiene de ellas. Las relacionadas con el reconocimiento de las sustancias, sus estados de agregación o los tipos de materia según su composición química, (C6 y C7 del TQ_{INI}I), cambian ligeramente (pasando a ser las C5 y C6 del TQ_{INI}II). La C8 del TQ_{INI}I, en la que deben representar los reactivos y productos de una reacción dada, se numera como C7 del TQ_{INI}II. De ella se obtienen datos sobre interpretación de fórmulas, coeficientes estequiométricos, conservación de la masa, etc. La C11 (TQ_{INI}I) que supone el proceso inverso, asignar una ecuación química a una representación se simplifica pasando a ser la C9(TQ_{INI}II). Además, en la fase II se añade la C8 (TQ_{INI}II) sobre identificación de las reacciones que

complementa a las anteriores y que tiene una correlación directa con una cuestión del test final de ambas fases. Se decide que sea la identificación de una reacción muy sencilla que todos conocen (como es la de formación de agua) para no tener distorsión por la sustancia en sí y conocer si distinguen entre reacción y mezcla, como sugiere la bibliografía. En el test final se introduce una ecuación más compleja (C 7 del TQ_{FINII}).

En cuanto a la reacción de combustión, la cuestión inicial C9 (TQ_{INI I}), se utiliza en el test final de ambas fases (C10 del TQ_{FIN I} y C11 del TQ_{FIN II}) y en la fase II se cambia la inicial por la C12 (TQ_{INI II}).

La energía asociada a las reacciones químicas, centradas en los enlaces rotos y formados, viene representada por la C10 (TQ_{INI I}). Para la segunda fase se aclara la redacción y pasa a ser la C14 (TQ_{INI II}). Además, se investiga directamente el concepto de proceso endotérmico y exotérmico, por lo que adicionalmente se incluye la C13 (TQ_{INI II}).

Se mantienen las dos últimas cuestiones sobre conservación y degradación de la energía aunque se acortan las opciones para evitar dispersión de respuestas. La C13 y C14 del TQ_{INI I} pasan a ser C16 y C17 para TQ_{INI II}.

Para comprobar la hipótesis 3.5 referida a la persistencia de los aprendizajes en el tiempo (H3.5) se utilizan los test finales de cada fase sin modificar. Se ha optado por repetir dichas pruebas a los alumnos tras unos cuatro meses (tras el final de su curso y el periodo de vacaciones estival). Se realizan en el mes de septiembre antes de cualquier influencia de los nuevos contenidos del curso escolar que comienza en ese momento.

2.8.2.2. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 3.3 y 3.4 relacionadas con los conceptos medioambientales

Para contrastar las hipótesis 3.3 y 3.4 correspondientes al estudio de los conocimientos sobre el medioambiente, se elabora el cuestionario TMA que se muestra a continuación en el cuadro 2.18. Se utiliza como test inicial y final de la fase I. Para la segunda fase experimental la única modificación consiste en añadir una opción más en la C6 para ambos momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje.

**TEST INICIAL Y FINAL DE CONCEPTOS SOBRE MEDIOAMBIENTE
PARA AMBAS FASES**

(TMA)

1. ¿Qué es la biomasa?

- a) Masa muscular de los animales que los permite realizar esfuerzos físicos.
- b) Alimentos sin aditivos ni conservantes químicos.
- c) Combustibles de origen orgánico no fósiles.
- d) Alimentos o sustancias bajos en calorías y beneficiosas para la salud.
- e) Otra:.....

2. ¿Qué consideras que quiere decir crisis energética?

- a) Que no tenemos tanta energía como pretendemos gastar.
- b) Que los países gastan mucho presupuesto en energías, lo que endeuda al país.
- c) Que hay desacuerdos económicos entre países por monopolizar el mercado actual.
- d) Que la escasez de un tipo de energía, la utilizada mayoritariamente, provoca que toda la economía se resienta.
- e) Otra:.....

3. Enumera los tipos de energías renovables que conozcas:

.....
.....

4. ¿Qué es la lluvia ácida?

- a) Precipitaciones de carácter ácido previas a una erupción volcánica.
- b) Precipitaciones de distintos ácidos, que han sido producidos y emitidos previamente por la combustión en coches, fábricas, etc., acumulándose en la atmósfera hasta precipitar con la lluvia.
- c) Precipitaciones de carácter ácido debidas a transformaciones de ciertos gases en ácidos al entrar en contacto con las gotas de agua de lluvia.
- d) Lluvia de pH ácido que se produce en las regiones áridas del planeta por causa de la desertización.
- e) Otra:.....

5. ¿Es el ozono siempre beneficioso?

- a) Sí, previene de los rayos ultravioletas del sol.
- b) No, puede ser un agente contaminante en el aire que respiramos.
- c) Sí, es oxígeno que podemos respirar.
- d) No, si es preparado artificialmente en los laboratorios.
- e) Otra:.....

1/2

6. ¿A qué agente es debido principalmente el llamado efecto invernadero?

- a) Aumento de la cantidad de CO₂ en la atmósfera.
- b) Aumento de la cantidad de óxidos de azufre en la atmósfera.
- c) Aumento de la cantidad de óxidos de nitrógeno en la atmósfera.
- d) Aumento de la cantidad de óxidos de azufre y de nitrógeno (principalmente) en la atmósfera.
- e) Aumento de los gases tipo CFC (de los aerosoles y aires acondicionados, neveras,...).
- f) Otra:.....

7. ¿Por qué los grupos ecologistas se oponen a que se queme carbón como combustible?

- a) Porque requiere más espacio y esas instalaciones producen más impacto visual.
- b) El carbón es una fuente de energía limitada, por ser fósil.
- c) Porque al quemar carbón se liberan sustancias más tóxicas que al quemar gasoil.
- d) El carbón es más caro que la madera.
- e) Otra:.....

8. Al quemar combustibles fósiles se aumenta el contenido en CO₂ de la atmósfera, ¿qué efecto principal tiene sobre el planeta?

- a) Calentamiento climático.
- b) Enfriamiento de la tierra por deshielo de los polos.
- c) Disminución de la humedad ambiental.
- d) Aumento de la humedad ambiental.
- e) Otro:.....

9. Últimamente habrás escuchado noticias sobre el mal funcionamiento de las calderas de gas natural, ¿a qué se debe esta deficiencia?

- a) A la formación durante la combustión de hidrocarburos tipo metano.
- b) A una incompleta combustión del gas, generándose monóxido de carbono.
- c) A una acumulación en el ambiente del CO₂ producido en la combustión.
- d) A un desprendimiento del cobre de las tuberías de conducción de la instalación, al calentarse durante la combustión.
- e) Otros:.....

10. Al quemar residuos agrícolas (paja, ramas, rastrojos,...) se obtiene energía. En la combustión también se desprende CO₂ como ocurre con otros combustibles, pero ¿cómo afecta al medioambiente?

- a) Deforestación.
- b) Aumento del efecto invernadero por aumentar el nivel de CO₂.
- c) No produce efecto invernadero. La cantidad de CO₂ liberada es la misma que se fijó por la planta; por lo tanto no hay aumento neto del nivel de CO₂ atmosférico.
- d) Disminución de la capa de ozono.
- e) Otra:.....

Porque.....

.....

2/2

CUADRO 2.18. TEST INICIAL DE CONCEPTOS SOBRE MEDIOAMBIENTE. FASE I.

Las preguntas de dicho cuestionario se relacionan con los conocimientos sobre medioambiente que se quieren estudiar según se muestra en el cuadro 2.19. Estas conexiones son las que posteriormente ayudarán a estudiar estadísticamente la evolución en la construcción de los contenidos conceptuales por parte de los alumnos.

Cuestión en TMA	Bloque de contenidos
C2	CRISIS ENERGÉTICA
C3	ENERGÍAS RENOVABLES
C1	BIOMASA
C4, C5, C6, C7 C8, C9	PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES Y SOBRE LA SALUD DERIVADOS DEL USO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA.
C10	CICLO DEL CO ₂ EN LA COMBUSTIÓN DE LA BIOMASA.

CUADRO 2.19. CORRELACIÓN ENTRE LAS CUESTIONES DEL TEST TMA Y LOS BLOQUES DE CONOCIMIENTOS QUE SE ABORDAN EN ELLAS.

Las cuestiones C2 y C3 indican el nivel de conocimientos sobre temas, aparentemente tan cotidianos, como son la crisis energética y el uso de fuentes de energías renovables. La cuestión C1 se refiere a la definición general de Energía de la Biomasa. Para evitar condicionar la respuesta, si fuese ubicada tras varias cuestiones sobre energía, se decide colocarla en el primer lugar del test.

Los problemas medioambientales y de salud sobre los que se pregunta son los más comunes: lluvia ácida (C4 y C7), el ozono como contaminante (C5) y, por supuesto, los relacionados con el efecto invernadero (C6, C8 e indirectamente el C10).

Con la pretensión de profundizar en la Unidad Didáctica en las reacciones de combustión se introduce una pregunta sobre la muerte dulce por CO (C9) que, desgraciadamente, cada año aparece como noticia, contribuyendo así a la comprensión de los problemas de la sociedad en la que viven. La C10 se refiere a la producción de CO₂ pero como resultado de la combustión de la Biomasa, estudiando el ciclo cerrado del CO₂ en la utilización de la Energía de la Biomasa.

2.8.3. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOGIDA DE DATOS DISEÑADOS PARA CONTRASTAR LAS HIPÓTESIS RELACIONADAS CON ACTITUDES

El posible cambio actitudinal, acaecido como consecuencia del proceso de enseñanza-aprendizaje investigativo, se aborda mediante unos cuestionarios de actitudes diseñados para contrastar tanto los aspectos referentes a cuestiones medioambientales (TACT1, TACT2 y TACT3), como los referentes a la propia MRPI utilizada (TMRPI) como muestra la figura 2.4.

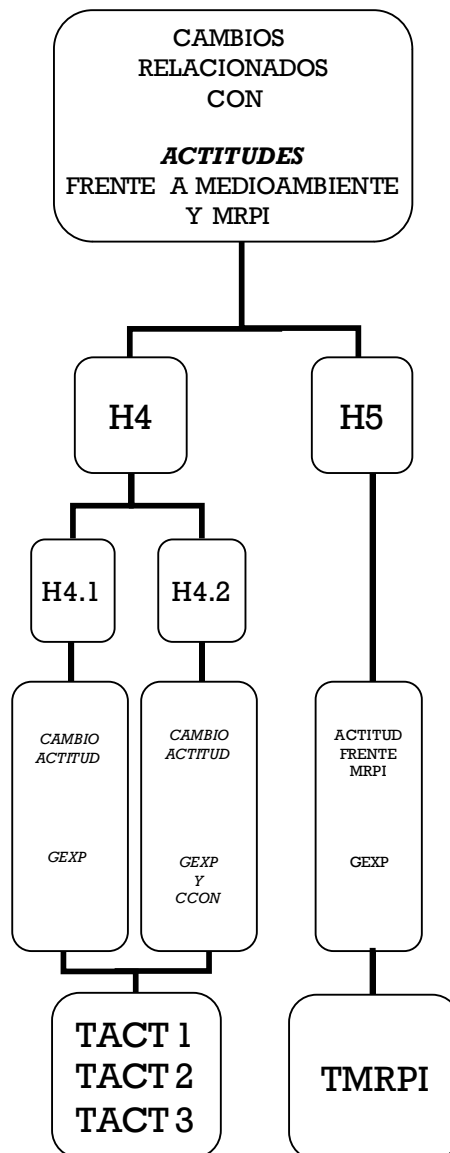


FIGURA 2.4. RELACIÓN ENTRE LAS HIPÓTESIS 4 Y 5 Y LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN SU CONTRASTACIÓN.

2.8.3.1. Instrumentos diseñados para contrastar las subhipótesis 4.1 y 4.2 relacionadas con las actitudes hacia el medioambiente

Para analizar las actitudes que pueden mostrar los alumnos frente a los problemas ambientales de actualidad, se diseñan tres pruebas. La primera, TACT1, consta de dos preguntas referidas a problemas actuales que el alumno debe responder de forma abierta y que se muestran a continuación en el cuadro 2.20. Estas preguntas son idénticas en el test inicial y final de ambas fases de la investigación.

TEST1 INICIAL DE ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE PARA AMBAS FASES

(TACT1)

1. ¿Qué problemas de la sociedad actual te preocupan más?

1..... 2.....

3..... 4.....

.....

2. Indica 3 factores que considerarías a la hora de escoger un combustible para calentar tu casa.

1.-.....

2.-.....

3.-.....

CUADRO 2.20. TEST DE ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE. FASE I Y II.

Aparentemente son dos preguntas separadas pero, realmente, se pasan junto con el test de conceptos de medioambiente y previo a él, para no condicionar respuestas por la lectura de otros ítems tanto del test de conceptos como del segundo de actitudes que se describe a continuación.

La segunda prueba de actitudes, TACT2, corresponde a un cuestionario de doce ítems que debe responderse según una escala tipo Likert (valores desde muy en desacuerdo=1 hasta muy de acuerdo=5), y en cuya parte posterior se dejan doce cuadros en blanco para que el alumno

explique su respuesta. Esta prueba inicial es la que se considera como la principal de actitudes (cuadro 2.21).

**TEST 2 INICIAL SOBRE ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE PARA
AMBAS FASES Y FINAL PARA LA FASE II**

(TACT2)

Nombre.....Curso.....Edad.....

Elige la opción más cercana a tu opinión sobre las distintas afirmaciones que aparecen en el cuadro, valorándolas de 1 a 5 (marca una cruz donde proceda)

1=Muy en desacuerdo 2=En desacuerdo 3=Indiferente 4=De acuerdo 5=Muy de acuerdo

Afirmación:	1	2	3	4	5
1. Realmente podemos utilizar los combustibles fósiles pues para cuando se agoten las reservas (petróleo dentro de unos 40 años) ya se habrá investigado sobre otras energías que los sustituyan.					
2. Muchas veces trabajas con luz eléctrica cuando podrías utilizar la luz solar (cambiando de habitación, subiendo persianas de clase o casa,...).					
3. Reciclas a diario todo lo que puedes..... (pilas, papel, vidrio, latas,...).					
4. Se debería multar a las personas que pudiendo reciclar no lo hicieran.					
5. El estado debería controlar el impacto ambiental de las empresas, industrias, etc., pero cada persona en su casa o propiedades debe poder elegir qué hacer sin imposición exterior.					
6. Deberían prohibir las instalaciones de calefacción contaminantes como las de carbón, aunque a esa persona le suponga un gran desembolso de dinero cambiar la caldera.					
7. En España debemos seguir utilizando el carbón como energía, aunque contamine más que otras fuentes pues sino mucha gente de la minería del norte no podría vivir.					
8. Se debería disminuir la velocidad de los coches hasta una velocidad donde el gasto de combustible sea mínimo aunque perjudique nuestro ritmo de vida.					
9. Si en tu casa la calefacción de gasoil te supone menos gasto que la eléctrica aunque es más contaminante, instalarás la primera pues es un problema de economía familiar.					
10.. En un país como España con mucha insolación deberían subvencionar las instalaciones solares aunque sea aumentando los impuestos.					
11. Las empresas que producen residuos agrícolas (azucareras, papeleras, madereras,...) deberían utilizar esos residuos para obtener energía para su instalación.					
12. El estado debería destinar dinero de los presupuestos para investigar en energías renovables aún a costa de aumentar los impuestos.					

Explica tu respuesta en pocas palabras:

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.

2/2

CUADRO 2.21. TEST INICIAL DE SOBRE ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE.

Este cuestionario TACT2 es utilizado como prueba inicial y final en la fase I . En la fase II, el test inicial es éste mismo pero en el momento final se

decide diseñar, por necesidades de la investigación, otro diferente (TACT3), de formato completamente abierto, para recoger más información de las respuestas de los alumnos. El cuestionario TACT3 se muestra en el cuadro 2.22.

**CUESTIONARIO FINAL DE ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE
PARA LA FASE II**

(TACT3)

Nombre.....Curso.....Edad.....

Ante los problemas de contaminación y ambientales de la sociedad actual, analiza de forma crítica y reflexiva las siguientes propuestas:

1. Tú como joven, ¿qué puedes hacer para evitarlos o disminuir su efecto?

2. Imagínate que eres un empresario o un industrial, ¿qué iniciativas puedes tomar para paliar estos problemas?

3. Por último, supón que eres un político, ¿qué decisiones tomarías para solucionar éste problema?

CUADRO 2.22. CUESTIONARIO FINAL DE CONTENIDOS ACTITUDINALES SOBRE EL MEDIOAMBIENTE. FASE II

2.8.3.2. Instrumentos diseñados para contrastar las hipótesis 5 relacionada con las actitudes frente a la MRPI

Dentro del estudio de actitudes falta por estudiar la última hipótesis planteada (H5). Interesa comprobar hasta qué punto el alumnado es consciente de ese cambio evolutivo en su aprendizaje respecto a la MRPI. Para ello, se utiliza una encuesta para determinar si ésta forma de trabajo en el aula ha promovido una actitud positiva, hacia el aprendizaje de las Ciencias en general y, hacia la resolución de problemas en particular.

Dicho cuestionario, consta de 12 ítems, semejantes a los utilizados en el trabajo de investigación de Varela (1994) en Física y de Ibañez (2003) en Biología y que se ha modificado aquí para el estudio de Química. Cada ítem se puntúa en una escala de tipo Likert con cinco valores (1 a 5) y, se completa con una explicación sobre dicha valoración. El uso del mismo cuestionario permite comparar los resultados obtenidos cuando los alumnos trabajan con problemas abiertos en Física, Biología y Química.

La encuesta se diseña alrededor de cuatro organizadores:

1. **Características de la tarea realizada** (resolución de problemas abiertos): los alumnos expresan como han encontrado la nueva tarea, el nivel de dificultad, si ésta les facilitaba el aprendizaje de conceptos y adquisición de destrezas científicas, etc.
2. Incidencia sobre la **autoconfianza** del alumno tanto en la propia resolución de problemas como en su actitud hacia las Ciencias.
3. **Metodología de trabajo**: Factores relacionados tanto con la metodología de trabajo como lo relacionado con el papel jugado por el profesor.
4. Posible **transposición de conocimientos** a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano).

A continuación, en el cuadro 2.23 se muestra la relación de los ítems incluidos en el test TMRPI con los organizadores y, en el cuadro 2.24, en los que se encuentra reflejado el organizador.

ORGANIZADOR	ÍTEMS
Características de la tarea realizada	1,2,3,4 y 5
Autoconfianza del alumno	6,10 y 12
Metodología de trabajo	7 y 11
Transposición de conocimientos	8 y 9

CUADRO 2.23. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍTEMS SEGÚN LOS ORGANIZADORES DEL TMRPI.

**TEST DE ACTITUDES HACIA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS Y LA
MRPI PARA AMBAS FASES
(TMRPI)**

¿Estás interesado en realizar estudios superiores donde la Química ocupe un lugar importante? En caso afirmativo, indica cuáles.....

1. La resolución de problemas abiertos me ha parecido una tarea
aburrida 1 2 3 4 5 interesante

porque.....
.....

2. La resolución de problemas abiertos me ha resultado una actividad
difícil 1 2 3 4 5 fácil

porque.....
.....

3. La resolución de problemas abiertos me ha ayudado a aprender conceptos de Química
poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....
.....

4. La resolución de problemas abiertos me ha ayudado a familiarizarse con
procedimientos más científicos de trabajo
poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....
.....

5. La resolución de problemas abiertos me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los
que aparecen en el libro de texto)
poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....
.....

6. Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más
capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan
desconocidos
no 1 2 3 4 5 sí

porque.....
.....

7. ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?

inútil 1 2 3 4 5 muy útil

porque.....

8. El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (salud, familia, como consumidor...)?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....

9. ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la resolución de problemas abiertos te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Biología, Física?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....

10. La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Química o las Ciencias en general?

no 1 2 3 4 5 sí

porque.....

11. ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Química?

inadecuada 1 2 3 4 5 adecuada

porque.....

12. El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque.....

2/2

CUADRO 2.24. TEST DE ACTITUDES HACIA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS Y LA MRPI.

Con este test concluyen los instrumentos diseñados para corroborar las diferentes hipótesis de trabajo de la presente investigación. La figura 2.5 muestra un esquema de todas ellas a modo de resumen.

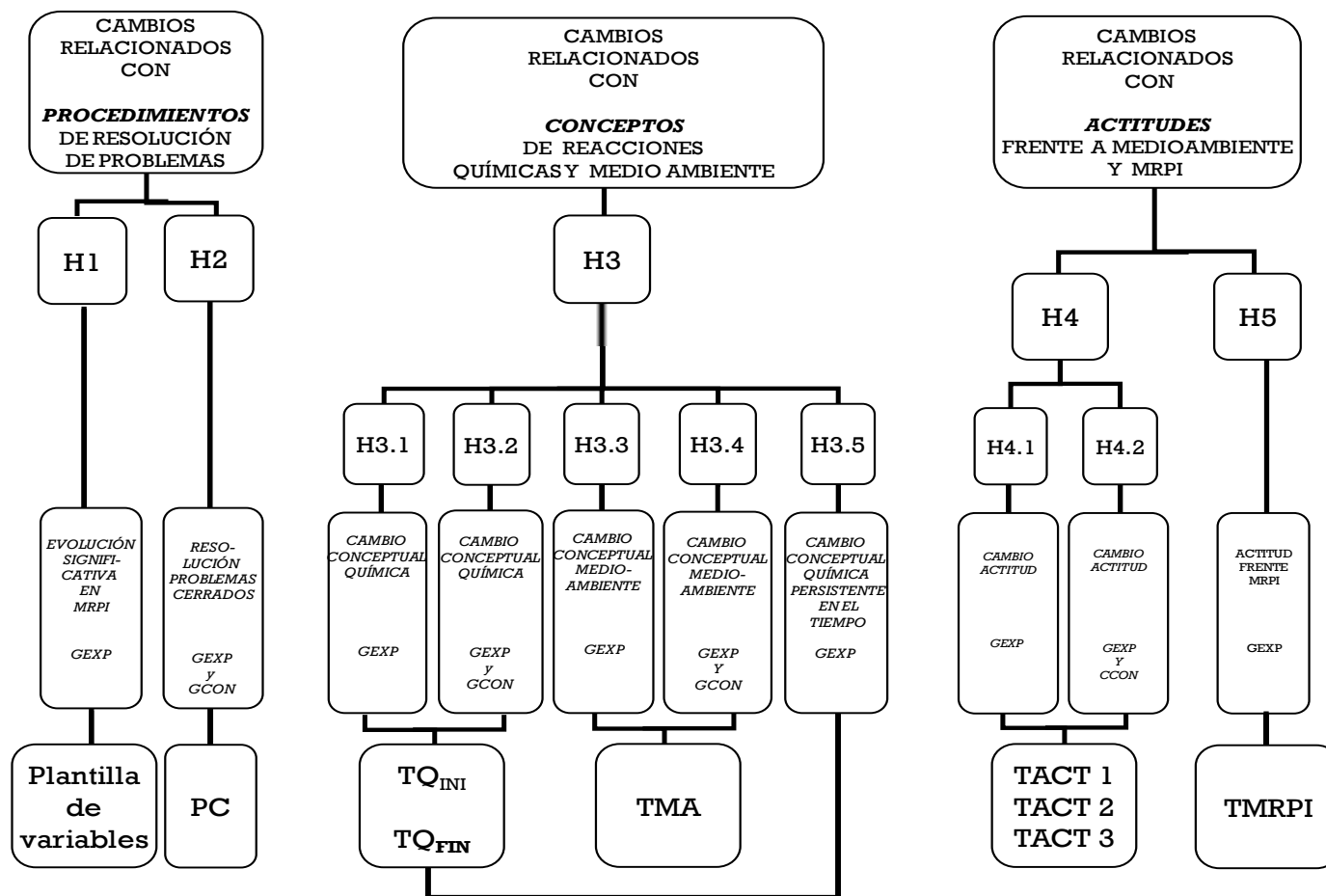


FIGURA 2.5. RELACIÓN ENTRE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS Y LOS INSTRUMENTO UTILIZADOS EN SU CONTRASTACIÓN.

2.9. MOMENTOS PARA LA RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN DEL TRABAJO EN AULA Y DE LAS PRUEBAS PLANTEADAS EN LA INVESTIGACIÓN

Los instrumentos presentados en el apartado anterior se diseñan para recoger información sobre los estudiantes de los GEXP y GCON en diferentes momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje, según muestra el cuadro 2.25, según las necesidades marcadas por la comprobación de las hipótesis de investigación planteadas.

INSTRUMENTO	MOMENTO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	
	GEXP	GCON
TQ _{INI}	PREVIO A LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TCM _{INI}	PREVIO A LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TACT1 _{INI}	PREVIO A LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TACT2 _{INI}	PREVIO A LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
PROBLEMAS ABIERTOS	DURANTE A LA U. D.	NO REALIZADA
PROBLEMA ABIERTO FINAL DE EVALUACIÓN	TRAS CONCLUIR LA U. D. Y JUNTO CON LA PRUEBA DE PROBLEMAS CERRADOS	NO REALIZADA
PROBLEMAS CERRADOS	TRAS CONCLUIR LA U.D.	SIMULTANEO AL GEXP
TQ _{FIN}	TRAS UNAS SEMANAS DE CONCLUIR LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TCM _{FIN}	TRAS UNAS SEMANAS DE CONCLUIR LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TACT1 _{FIN}	TRAS UNAS SEMANAS DE CONCLUIR LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TACT2 _{FIN}	TRAS UNAS SEMANAS DE CONCLUIR LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TACT3	TRAS UNAS SEMANAS DE CONCLUIR LA U. D.	SIMULTANEO AL GEXP
TQ _{FIN}	TRAS VARIOS MESES, DESPUÉS DE LAS VACACIONES ESTIVALES Y AL COMIENZO DEL NUEVO CURSO	NO REALIZADA

CUADRO 2.25. MOMENTO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN DEL ALUMNO DE LOS GEXP Y GCON RESPECTO AL MOMENTO DE DESARROLLO EN EL AULA DE LA UNIDAD DIDÁCTICA.

Los cuestionarios de conocimientos sobre reacciones químicas, TQ, se distribuyen por el profesor responsable de cada grupo (GEXP y GCON), antes y después del desarrollo de la Unidad Didáctica. Tras el periodo estival, la información se recoge por un nuevo profesor (en ambos casos) pues la profesora investigadora ya no se encontraba destinada en el centro. Los test sobre medioambiente, TCM, y de actitudes TACT, se entregan en sesiones de tutoría para evitar el posible condicionamiento de los estudiantes, presentándose como una recogida de información social adicional sobre el alumnado.

2.10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según se planteaba en la metodología de la investigación, estas investigaciones enmarcadas en el campo educativo presentan las características de las investigaciones sociales. Para analizar los datos obtenidos se deben, por tanto, utilizar diferentes técnicas cualitativas y cuantitativas según las intenciones del estudio.

Así, para interpretar y valorar los razonamientos e ideas de los estudiantes se utilizan análisis de tipo cualitativo, propios de estudios de tipo etnográfico o social. En este trabajo se hace para la evaluación de los niveles de resolución de cada una de las variables de las situaciones problemáticas planteadas, y en el análisis de las pruebas abiertas sobre actitudes hacia el medioambiente, donde se deben extraer los conocimientos de los estudiantes por tratarse de ítems abiertos.

Para analizar cuestionarios abiertos se utilizan las redes sistémicas o network, método propuesto por varios autores (Bliss, Monk & Ogborn, 1985; Jorba & Sanmartí, 1994), para organizar y analizar datos cualitativos recogidos en cuestionarios abiertos como el TACT final para la fase II. Estas redes trabajan con categorías bien definidas, elaboradas de forma que recojan fielmente la naturaleza de los datos. La persona que analiza las respuestas dadas por los estudiantes a cada ítem, debe identificar qué respuestas son similares y agruparlas dentro de una misma categoría. De la misma forma, debe determinar si respuestas, que en principio parecen similares, presentan algún matiz por el que sea interesante diferenciarlas. Las opciones de respuesta no están definidas a priori, sino que surgen del análisis de las contestaciones dadas por el conjunto de todos los estudiantes.

Los análisis de tipo cuantitativo de la investigación se basan en análisis estadísticos no paramétricos de los datos recogidos a partir de las respuestas de los alumnos a las diferentes pruebas. Se aplican al estudio los métodos seguidos por otros autores en estudios de tipo social (Fernández, García, Asensio & Fuentes., 1990; González, 1991; Martínez, 1995; Martínez-Aznar & Ibáñez 2005; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007). A la hora de elegir el estadístico más adecuado se debe tener en cuenta la hipótesis a contrastar, el tipo de datos, el nivel de medición de las variables y los grupos

implicados (si se está estudiando el mismo grupo en diferentes momentos o son diferentes grupos).

A continuación se detallan los estadísticos elegidos para contrastar cada hipótesis:

- Para contrastar la hipótesis previa H_0 referente a la homogeneidad inicial de dos grupos diferentes, el GEXP y el GCON, se trabaja con el Test de la U de Mann-Whitney. Esta prueba es muy utilizada, en el análisis de dos grupos independientes cuando los datos son cualitativos. La hipótesis nula es que las frecuencias de respuesta de ambos grupos son homogéneos frente a la alternativa de que existan diferencias significativas. Para apoyar la hipótesis nula se considera que los grupos son homogéneos en sus respuestas si $p > 0,01$, lo que supone un nivel de confianza del 90% (que en las tablas señalaremos con el valor con *), $p > 0,05$ con un nivel de confianza del 95% (se señalará con **) y $p > 0,1$ si el nivel de confianza es del 99% (se señalará con ***).
- Para contrastar las diferencias finales entre el GEXP y GCON se utiliza también el Test de la U de Mann-Whitney. En este caso la hipótesis nula será que ambos grupos son homogéneos frente a la alternativa de que el GEXP es significativamente mejor. Se pretende demostrar que, al final del proceso de enseñanza-aprendizaje, ambos grupos no sólo presentan una diferencia significativa en los aprendizajes realizados, sino que esta diferencia es a favor del GEXP. En este caso se considera la hipótesis alternativa si $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***) con un nivel de confianza del 90%, 95% y 99% respectivamente.
- Para evaluar la evolución del aprendizaje del GEXP en la MRPI a través de los problemas abiertos, se utiliza el Análisis de la varianza (ANOVA). Se observa primero el Test de la F que permite identificar la existencia de una diferencia significativa entre las valoraciones medias alcanzadas por los estudiantes en cada uno de los problemas y de las variables analizadas. Posteriormente, se comparan cada una de las valoraciones medias obtenidas por los alumnos en los problemas mediante el Test de medias de rangos múltiples, correspondiente a un diseño factorial (test de Tukey) que, además de

permitir el contraste entre ellas, determina entre cuales hay una diferencia significativa que pueda indicar un salto importante en el aprendizaje logrado o una diferencia entre el nivel de aprendizaje realizado en las distintas variables.

- Para el estudio de un mismo grupo en diferentes momentos se utiliza el Test de Wilcoxon. Se evalúan los datos del GEXP antes y después de la fase experimental buscando un cambio estadísticamente significativo tanto en los aprendizajes de tipo conceptual como actitudinal. La hipótesis nula es que los grupos sean homogéneos frente a la alternativa de que al final del proceso sean estadísticamente mejores en sus respuestas. En este caso, se considera la alternativa de que al final del proceso son mejores los resultados para dicho grupo si $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***) con un nivel de confianza de 90%, 95% y 99% respectivamente.
- Además, se utiliza igualmente el Test de Wilcoxon para estudiar la persistencia en el tiempo del cambio conceptual referido a las reacciones químicas y su energía. Se selecciona éste pues se trata de nuevo de dos muestras relacionadas, el estudio del GEXP en dos momentos: al finalizar el proceso de enseñanza aprendizaje y transcurridos aproximadamente cuatro meses. Por tanto, la hipótesis nula será que en ambos momentos las respuestas son estadísticamente homogéneas frente a la alternativa de que en junio son mejores (o en septiembre peores). Nos interesa la hipótesis nula, que se acepta si $p > 0,01$ (*), $p > 0,05$ (**) y $p > 0,1$ (***) con un nivel de confianza del 90%, 95% y 99% respectivamente.

El programa estadístico con el que se ha llevado a cabo dichos análisis es el STATGRAPHICS PLUS 4.1 por ser un programa de fácil manejo que se había utilizado anteriormente en investigaciones semejantes por el equipo de trabajo (Ibáñez, 2003; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005).

Tras indicar los estadísticos utilizados, en el cuadro 2.26 se muestra un resumen de la información básica necesaria para el seguimiento de los análisis y que completa la mostrada por la figura 2.5, que relacionaba las pruebas realizadas, las hipótesis a contrastar y el estadístico elegido.

TEST/TAREA	COMPROBACIÓN	HIPÓTESIS	GRUPOS	ESTADÍSTICO
Pb abiertos	Homogeneidad	H01	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
	Cambio de capacidades	H1	GEXP	ANOVA (test de la F y Test de rasgos múltiples)
Pb cerrados	Cambio de capacidades	H2	GEXP GCON	U-Mann-Whitney
TQ	Homogeneidad	H02	GEXP GCON	U-Mann-Whitney
	Cambio conocimientos	H31	GEXP	Wilconxon
	Cambio conocimientos	H32	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
	Persistencia en el tiempo	H35	GEXP	Wilconxon
TCM	Homogeneidad	H03	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
	Cambio conocimientos	H33	GEXP	Wilconxon
	Cambio conocimientos	H34	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
TACT1 + TACT2 + TACT3	Homogeneidad	H04	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
	Cambio actitudinal	H41	GEXP	Wilconxon
	Cambio actitudinal	H42	GEXP GCON	U-Mann- Whitney
Test MRPI	Actitud hacia MRPI	H5	GEXP	%

CUADRO 2.26. RELACIÓN ENTRE LAS PRUEBAS REALIZADAS, LAS HIPÓTESIS QUE SE PRETENDEN CONTRASTAR Y LOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA Y SU DESARROLLO EN EL AULA

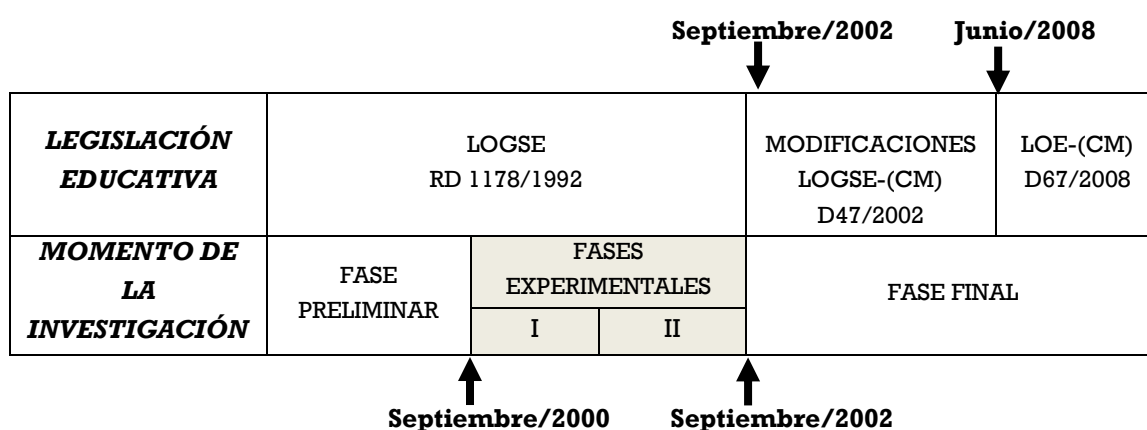
En este capítulo, se recorre el camino que lleva a la elaboración de los materiales de aula que constituyen la Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa” que se recoge en el Anexo II.

Además de analizar dicho recurso, se describe el trabajo realizado con los alumnos en el aula durante el proceso de enseñanza-aprendizaje con la MRPI, tanto en el desarrollo de la Unidad como en el contacto previo necesario realizado en los momentos previos a la fase de experimentación. También se muestra como se realiza la coordinación con el GCON.

3.1. JUSTIFICACIÓN CURRICULAR

Para elaborar la Unidad Didáctica se analizan en profundidad el currículo oficial del primer curso de Bachillerato y las concepciones alternativas respecto a las reacciones químicas y a la energía. La selección del curso se ajusta tanto al nivel de dificultad de ciertas reacciones químicas de la biomasa, complejas para cursos de la ESO, como a otros requisitos específicos de la investigación, como es la necesidad de seguimiento de los alumnos en el curso siguiente a la experimentación.

El diseño de la unidad se debe adecuar a la programación del curso. Para ello se comprueban los objetivos, contenidos y criterios de evaluación según la legislación vigente en cada momento de la investigación, cambiante a lo largo del estudio, como se recoge en el cuadro 3.1.



CUADRO 3.1. RELACIÓN TEMPORAL ENTRE MODIFICACIONES CURRICULARES EN EL BACHILLERATO Y EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1.1. SELECCIÓN DEL CURRÍCULO EN EL MOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Al inicio de la investigación la legislación vigente, en cuanto al currículo de Bachillerato, era la señalada por el real decreto 1178/1992 de 2 de Octubre. En el séptimo de los ocho bloques de contenidos para el primer curso, “Cambios materiales y energéticos en las reacciones químicas”, se puede encuadrar perfectamente la unidad de trabajo (cuadro 3.2).

Contenidos	Criterios de evaluación
<p>7.- Cambios materiales y energéticos en las reacciones químicas:</p> <p>Estudio de las transformaciones químicas, usando un modelo de choque entre moléculas. Significado de las ecuaciones químicas. Ajuste de reacciones. Estequiometría.</p> <p>Importancia de las reacciones químicas en la sociedad. Explicación de la existencia de reacciones endo y exotérmicas mediante la rotura y formación de enlaces. Importancia del oxígeno en la vida a través del estudio de reacciones de combustión.</p>	<p>10. Resolver ejercicios y problemas teóricos y aplicados, utilizando toda la información que proporciona la correcta escritura de una ecuación química.</p> <p>Se trata de comprobar que los estudiantes saben extraer de una ecuación química información sobre el estado físico de las sustancias, las relaciones entre moles, la energía de reacción, etc., y que saben deducir, a partir de ellas, la cantidad de los productos y reactivos que intervienen, sin que estos se tengan que encontrar necesariamente en proporciones estequiométricas. Se utilizarán en la medida de lo posible ejemplos de reacciones que puedan realizarse en los laboratorios escolares y en distintos tipos de industrias.</p>

CUADRO 3.2. RELACIÓN ENTRE CONTENIDOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA REACCIONES QUÍMICAS DENTRO DEL CURRÍCULO DEL REAL DECRETO 1178/1992.

Se elige la energía de la biomasa como base para el estudio de reacciones químicas por el interés social que en ese momento cobra la crisis energética y la búsqueda de energías alternativas respetuosas con el medioambiente. De esta forma, se fomenta la interacción Ciencia-Tecnología-Sociedad y Ambiente (CTSA, en dicho currículo denominadas CTS), como se sugiere en las especificaciones del segundo bloque de contenidos y, en el sexto de los criterios de evaluación que se recogen en el cuadro 3.3.

Contenidos	Criterios de evaluación
<p><i>2. Ciencia, Tecnología y sociedad: Relaciones de la ciencia con la tecnología y las implicaciones de ambas en la sociedad: Consecuencias en las condiciones de la vida humana y en el medio ambiente. Valoración crítica.</i></p> <p><i>Influencias mutuas entre la sociedad, la ciencia y la tecnología. Valoración crítica.</i></p>	<p><i>6. Contrastar diferentes fuentes de información y elaborar informes en relación a problemas físicos y químicos relevantes de la sociedad.</i></p> <p><i>Se pretende saber si los alumnos o alumnas son capaces de buscar bibliografía, adecuada a su preparación, referente a temas de actualidad, tales como las demandas energéticas o la elaboración de materiales de importancia tecnológica, y de estructurar el trabajo bibliográfico de manera adecuada.</i></p>

CUADRO 3.3. RELACIÓN ENTRE CONTENIDOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA ASPECTOS CTS DENTRO DEL CURRÍCULO DEL RD1178/1992.

En general, el planteamiento de la investigación se encuadra perfectamente en la idea y objetivos del curso, según se recoge en la introducción de dicha resolución:

“.... el papel formativo de la Física y Química se orienta, por un lado, a profundizar en los conocimientos científicos necesarios para comprender el mundo que nos rodea adquiriendo una actitud fundamentada, analítica y crítica, y por otro, a provocar la reflexión de los alumnos sobre la finalidad y utilización de modelos y teorías por las ciencias físico-químicas, así como el papel de estas ciencias y de la tecnología en el desarrollo de la sociedad, y recíprocamente, la influencia de esta en el avance de aquellas. Para el alumno de bachillerato estas ciencias han de aparecer en su carácter empírico y predominantemente experimental, a la vez que en su construcción teórica y de modelos. Han de favorecer, así mismo, la familiarización con las características de la investigación científica y de su aplicación a la resolución de problemas concretos.....” (Real Decreto1178/1992, anexo suplemento BOE 253, p. 32; MEC, 1992).

Los objetivos generales de la materia que están en consonancia con los procedimientos de la MRPI considerados en esta investigación se recogen en el cuadro 3.4.

Objetivos de la materia
<p>2. Aplicar los conceptos, teorías y modelos aprendidos a situaciones reales y cotidianas.</p> <p>3. Analizar críticamente hipótesis y teorías contrapuestas Que permitan desarrollar el pensamiento crítico, y valorar sus aportaciones al desarrollo de la Física y la Química.</p> <p>4. Utilizar con cierta autonomía destrezas investigativas, tanto documentales como experimentales (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, realizar experiencias, etc.) reconociendo el carácter de la ciencia como proceso cambiante y dinámico.</p> <p>5. Mostrar actitudes que suelen asociarse al trabajo científico tales como la búsqueda de información exhaustiva, la capacidad crítica, la necesidad de verificación de los hechos. el cuestionamiento de lo obvio y la apertura ante nuevas ideas.</p> <p>6. Integrar la dimensión social y tecnológica de la Física y la Química, interesándose por las realizaciones científicas y tecnológicas y comprendiendo los problemas que plantea su evolución a la naturaleza, al ser humano, a la sociedad y a la comunidad internacional.</p>

CUADRO 3.4. OBJETIVOS GENERALES DEL CURRÍCULO DE BACHILLERATO DEL RD1178/1992 A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA.

Por otro lado, los cambios acaecidos en los currículos de la enseñanza secundaria, tanto a nivel estatal como a nivel autonómico, no afectaron a los contenidos seleccionados en esta investigación, manteniéndose por tanto la vigencia de la Unidad Didáctica. No obstante se describen a continuación dichas modificaciones.

El 16 de enero del año 2001, se publica en el BOE un real decreto (RD 3474/2000) que modifica las enseñanzas mínimas de bachillerato y que la Comunidad de Madrid desarrolla en el Decreto 47/2002 de 21 de marzo en BOCM de 2 de abril de 2002 (CECM, 2002). En él se determinan los nuevos objetivos, contenidos y criterios de evaluación así como la forma de aplicación para ser implementado en el año 2002/2003 para el primer curso de Bachillerato.

Aunque el trabajo ya se había iniciado, la modificación no afectó a la parte experimental ni siquiera en su segunda fase, que queda concluida en septiembre de 2002. Aún así, si se observan los cambios propuestos se comprueba que las variaciones en relación a las reacciones químicas se acercan más al enfoque cotidiano y CTSA que se propone en esta investigación:

“La materia de Física y Química debe proporcionar a los alumnos una visión global del mundo que los rodea desde una perspectiva científica,...”. “Las implicaciones de la Física y la Química con la tecnología y la sociedad deben estar presentes en el desarrollo del currículo de este curso” (Decreto 47/2002, BOCM 77, p. 42, CECM, 2002).

En el año 2008/2009 se incorpora el nuevo currículo de Bachillerato para la Comunidad de Madrid según el decreto 68/2008 (BOCM del 27 de junio de 2008), donde se especifica una referencia directa al tratamiento de temas CTSA de actualidad como es la sostenibilidad:

“La materia ha de contribuir a la formación del alumnado para su participación como ciudadanos, y, en su caso, como miembros de la comunidad científica, en la necesaria toma de decisiones en torno a los graves problemas con los que se enfrenta hoy la humanidad. Es por ello por lo que el desarrollo de la materia debe prestar atención igualmente a las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA), y contribuir, en particular, a que los alumnos conozcan aquellos problemas, sus causas y medidas necesarias, en los ámbitos tecnocientífico, educativo y político, para hacerles frente y avanzar hacia un futuro sostenible” (Decreto 68/2008, BOCM 152, p. 62, CECM, 2008).

Cabe destacar que los diferentes currículos indicados contienen, al final de la parte correspondiente a la Física, un bloque referido a energía que incluye transformación, tipos, degradación, conservación, etc. Sin embargo, en el bloque de contenidos de Química sobre las reacciones, los nuevos currículos se centran más en sus cambios materiales dejando de lado los energéticos (por ejemplo la energía de enlace y entalpía). No obstante aparecen contenidos relacionados con el cuidado del medioambiente y con la sostenibilidad, derivando indirectamente hacia las fuentes energéticas. En el cuadro 3.5 se pueden comparar los contenidos propuestos en los diferentes currículos para el bloque relativo a reacciones químicas.

Contenidos hasta 2002	Contenidos 2002-2009	Contenidos a partir de 2009
<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de las transformaciones químicas, usando un modelo de choque entre moléculas. - Significado de las ecuaciones químicas. - Ajuste de reacciones. Estequiometría. - Importancia de las reacciones químicas en la sociedad. - Explicación de la existencia de reacciones endo y exo-térmicas mediante la rotura y formación de enlaces. - Importancia del oxígeno en la vida a través del estudio de reacciones de combustión. <p>RD 1178/1992 en BOE de 2 de Octubre de 1992</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fórmulas empíricas y moleculares. - Relaciones estequiométricas de masa y/o volumen en las reacciones químicas utilizando factores de conversión. Rendimiento. - Procesos con reactivo limitante. - Cálculos en sistemas en los que intervienen disoluciones. - Tipos de reacciones químicas. - Estudio de un caso habitual: Reacciones de combustión. <p>D 47/2002 en BOCM de 2 de abril de 2002</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Importancia del estudio de las transformaciones químicas y sus implicaciones. - Interpretación microscópica de las reacciones químicas. Velocidad de reacción. Factores de los que depende: Hipótesis y puesta a prueba experimental. - Relaciones estequiométricas de masa y/o volumen en las reacciones químicas utilizando factores de conversión. Reactivo limitante y rendimiento de una reacción. Cálculos en sistemas en los que intervienen disoluciones. - Tipos de reacciones químicas. Estudio de un caso habitual: R. combustión. - Química e industria: Materias primas y productos de consumo. Implicaciones de la química industrial. - Valoración de algunas reacciones químicas que, por su importancia biológica, industrial o repercusión ambiental, tienen mayor interés en nuestra sociedad. El papel de la química en la construcción de un futuro sostenible. <p>D 68/2008 en BOCM de 27 de junio de 2008</p>

CUADRO 3.5. EVOLUCIÓN DE LOS CONTENIDOS RELACIONADOS CON REACCIONES QUÍMICAS EN LOS DIFERENTES CURRÍCULOS QUE HAN EXISTIDO DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y HASTA LA LOE.

En conclusión, los contenidos que se abordan en la Unidad Didáctica son:

- TIPOS DE PROCESOS. Procesos físicos y químicos.
- REACCIONES QUÍMICAS.
- ASPECTOS MATERIALES DE LAS REACCIONES QUÍMICAS: Conservación de la masa, relaciones estequiométricas, estudios macroscópicos y representaciones microscópicas de los procesos.
- ASPECTOS ENERGÉTICOS DE LAS REACCIONES QUÍMICAS: Energía de enlace, entalpía de una reacción, rendimiento energético, conservación y degradación de la energía.
- TIPOS DE REACCIONES QUÍMICAS: Las reacciones de combustión;

y se relacionan se relacionan en el esquema de la figura 3.1.

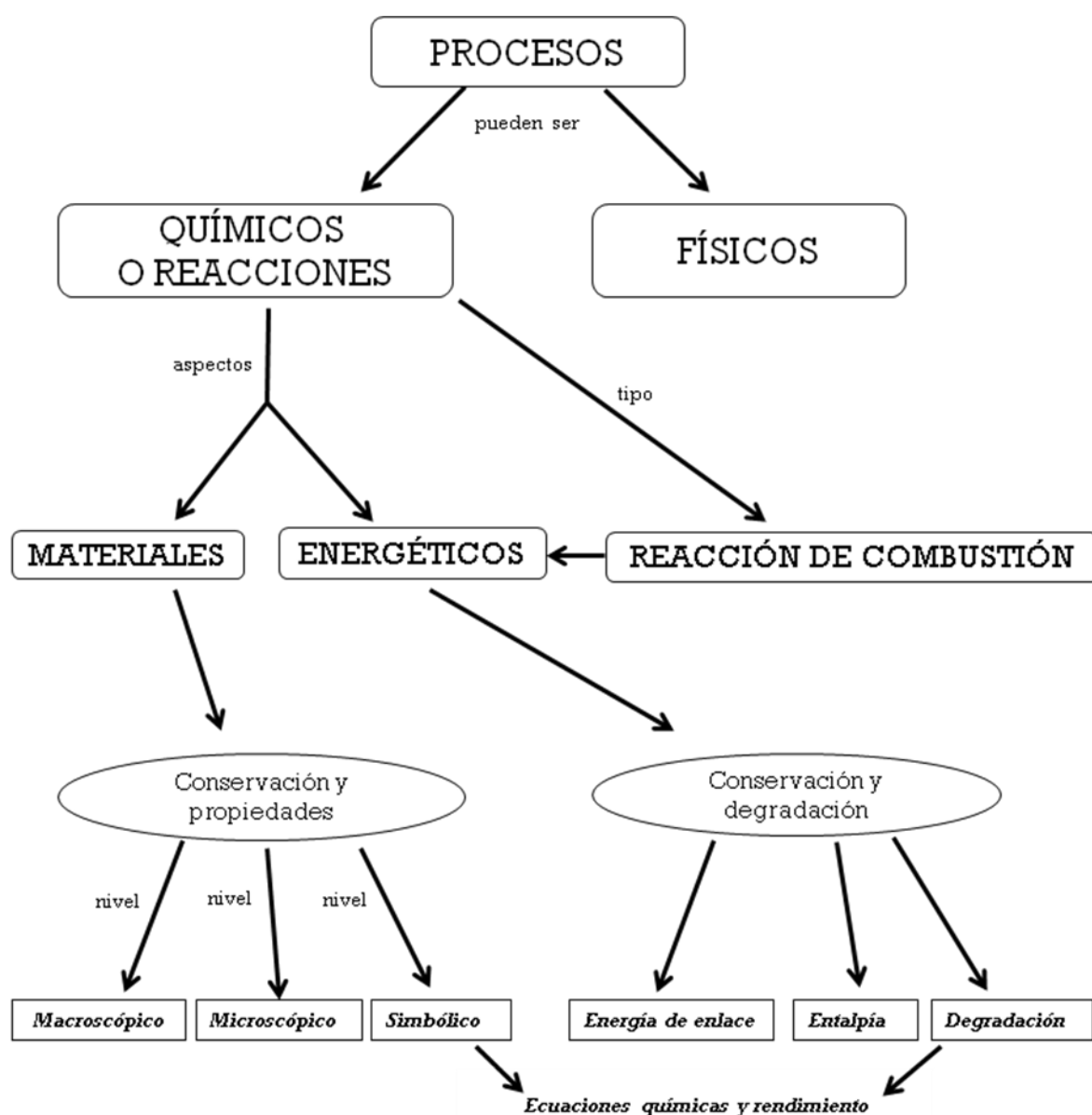


FIGURA 3.1. ESQUEMA DE LOS CONTENIDOS SELECCIONADOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS.

Otro aspecto relevante del currículo de la LOE es la inclusión, en los denominados contenidos comunes (bloque 1), de aspectos muy directamente relacionados con la metodología de enseñanza seguida en la presente investigación:

“Utilización de estrategias básicas de la actividad científica tales como el planteamiento de problemas y la toma de decisiones acerca del interés y la conveniencia o no de su estudio, formulación de hipótesis, elaboración de estrategias de resolución y diseños experimentales y análisis de los resultados y de su finalidad” (Decreto 67/2008, BOCM 152, p. 62).

Además, como se recoge en el cuadro 3.6, todos los currículos destacan, entre sus objetivos, la importancia de adquirir capacidades que se van a trabajar con la MRPI.

Objetivos de la materia		
<i>"4. Utilizar con cierta autonomía destrezas investigativas, tanto documentales como experimentales (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, realizar experiencias, etc.) reconociendo el carácter de la ciencia como proceso cambiante y dinámico."</i>	<i>"4. Utilizar destrezas investigadoras, tanto documentales como experimentales, con cierta autonomía, reconociendo el carácter de la ciencia como proceso cambiante y dinámico."</i>	<i>"3. Utilizar, con autonomía creciente, estrategias de investigación propias de las ciencias (planteamiento de problemas, formulación de hipótesis fundamentadas; búsqueda de información; elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales; realización de experimentos en condiciones controladas y reproducibles, análisis de resultados, etcétera), relacionando los conocimientos aprendidos con otros ya conocidos y considerando su contribución a la construcción de cuerpos coherentes de conocimientos y a su progresiva interconexión."</i>
<i>RD 1178/1992 en BOE de 2 de octubre de 1992</i>	<i>D 47/2002 en BOCM de 2 de abril de 2002</i>	<i>D 67/2008 en BOCM de 27 de junio de 2008</i>

CUADRO 3.6. EVOLUCIÓN DE LOS OBJETIVOS GENERALES RELACIONADOS CON LA RESOLUCIÓN DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS EN LOS DIFERENTES CURRÍCULOS QUE HAN EXISTIDO DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y POSTERIORMENTE A ELLA.

3.1.2. CURRÍCULO Y DESARROLLO DE COMPETENCIAS

La importancia de la educación en la sociedad actual se puede comprobar atendiendo a las directrices que los responsables políticos señalan. En ese sentido, la Unión Europea se ha esforzado, en los últimos años en indicar cuáles deberían ser los objetivos de la educación de los ciudadanos y cómo se pueden favorecer capacidades básicas en los alumnos que ayuden a desarrollar destrezas de aprendizaje adecuadas.

Así, en el Consejo Europeo de Lisboa del 2000, se proponía el futuro crecimiento de la Unión Europea como una sociedad económica que debía progresar de una manera sostenible con el planeta. Desde entonces, tanto el Parlamento Europeo como el propio Consejo, han ido proporcionando recomendaciones para orientar hacia lo que se quiere que sea el perfil de un ciudadano europeo y de cómo se puede mejorar sus capacidades a través de la educación. En las conclusiones del Consejo Europeo de Mayo del 2009 se definen estrategias para la cooperación entre los países europeos en lo referente a la educación y la formación con una visión de proyecto hasta el 2020. En ese sentido, la Unión Europea ha dado directrices para que los estados participantes favorezcan esta educación de los ciudadanos en la adquisición de unas competencias básicas que ayuden al desarrollo de una Unión Europea competitiva pero a la vez con valores.

La preocupación por su introducción en el sistema educativo español se muestra, no solo en su inclusión en el currículo de la enseñanza obligatoria sino incluso en la concesión de ayudas económicas para proyectos de los centros educativos que profundicen en la consolidación de las competencias básicas como elemento esencial de currículo, como aparece en la orden del ministerio de Educación EDU/1427/2011 del 20 de mayo, en BOE 129 de 31 de mayo 2011, (ME, 2011).

Efectivamente, para el alumnado, el aprendizaje de ciertas competencias son consideradas imprescindibles para lograr su realización como ciudadanos activos. Les ayudan a incorporarse a la vida adulta de forma satisfactoria, a la vez que les dotan de estrategias para desarrollar un futuro aprendizaje.

Las competencias básicas vienen definidas en el decreto de 1631/2006, de 29 de diciembre (BOE de 5 de Enero de 2007, MEC, 2007) y son las siguientes:

1. Competencia en comunicación lingüística.
2. Competencia matemática.
3. Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico.
4. Tratamiento de la información y competencia digital.
5. Competencia social y ciudadana.
6. Competencia cultural y artística.
7. Competencia para aprender a aprender.
8. Autonomía e iniciativa personal.

En este sentido, el trabajo de investigación llevado a cabo, se relaciona, claramente, con el desarrollo por parte de los escolares de la competencia 3, *competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico*:

“...esta competencia supone el desarrollo y aplicación del pensamiento científico-técnico para interpretar la información que se recibe y para predecir y tomar decisiones con iniciativa y autonomía personal en un mundo en el que los avances que se van produciendo en los ámbitos científico y tecnológico tienen una influencia decisiva en la vida personal, la sociedad y el mundo natural. Asimismo, implica la diferenciación y valoración del conocimiento científico al lado de otras formas de conocimiento, y la utilización de valores y criterios éticos asociados a la ciencia y al desarrollo tecnológico.

En coherencia con las habilidades y destrezas relacionadas hasta aquí, son parte de esta competencia básica el uso responsable de los recursos naturales, el cuidado del medio ambiente, el consumo racional y responsable, y la protección de la salud individual y colectiva como elementos clave de la calidad de vida de las personas” (BOE de 5 de enero de 2007, p. 888).

En el currículo de bachillerato no se incluyen expresamente estas competencias, pero los alumnos que hayan finalizado la etapa secundaria, a partir del año 2006, han debido desarrollarlas. Sería pues aconsejable que en el trabajo con los alumnos de bachillerato se hiciese el esfuerzo por abordar las competencias, pues siguiendo la recomendación europea se aplican también para los estudios universitarios.

Hay que destacar que la metodología de trabajo en el aula seguida en esta investigación, está en la línea del desarrollo de la competencia científica al proporcionar habilidades que claramente se trabajan y potencian con la MRPI:

“Esto implica la habilidad progresiva para poner en práctica los procesos y actitudes propias del análisis sistemático y de indagación científica: identificar y plantear problemas relevantes; realizar observaciones directas e indirectas con conciencia del marco teórico o interpretativo que las dirige; formular preguntas; localizar, obtener, analizar y representar información cualitativa y cuantitativa; plantear y contrastar soluciones tentativas o hipótesis; realizar predicciones e inferencias de distinto nivel de complejidad; e identificar el conocimiento disponible, (teórico y empírico) necesario para responder a las preguntas científicas, y para

obtener, interpretar, evaluar y comunicar conclusiones en diversos contextos (académico, personal y social)” (BOE de 5 de enero de 2007 , p. 887, MEC 2007).

En la figura 3.2 se establece esta correspondencia entre la competencia científica y las cinco fases de la MRPI.

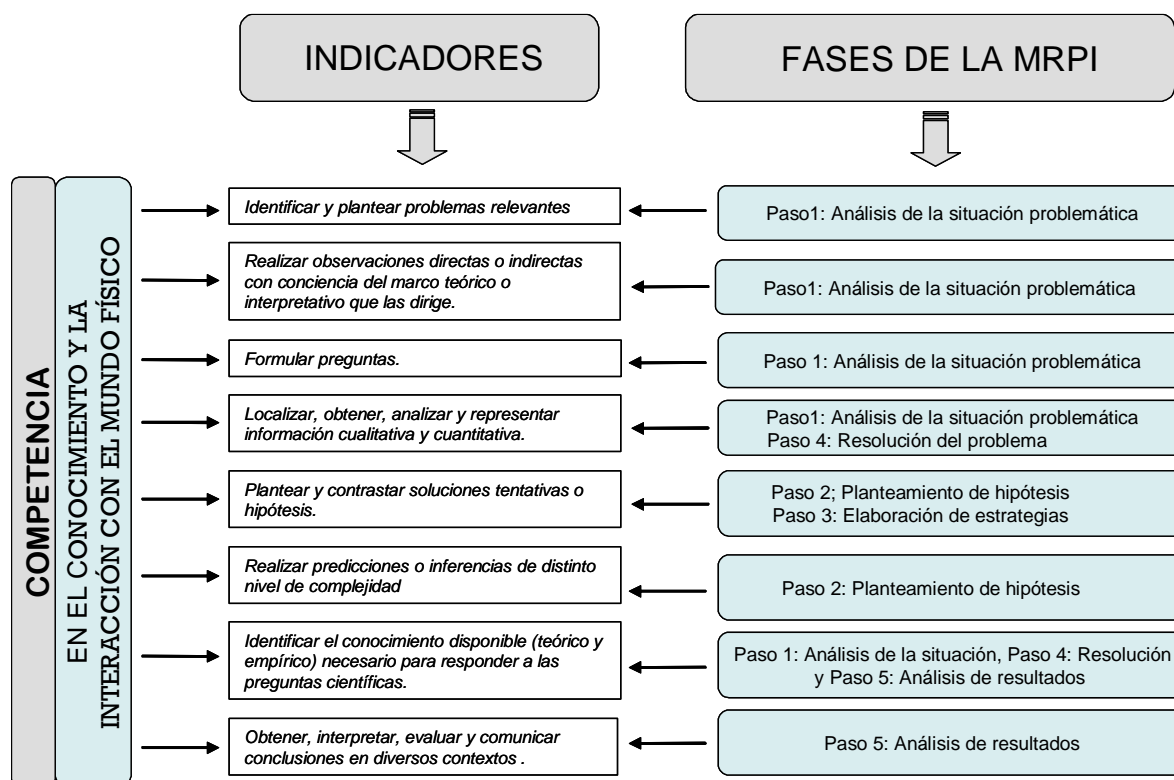


FIGURA 3.2. RELACIÓN ENTRE INDICADORES DE LA COMPETENCIA EN EL CONOCIMIENTO Y LA INTERACCIÓN CON EL MUNDO FÍSICO CON LAS FASES DE LA MRPI.

Esta relación recalca el valor añadido que puede asociarse a esta investigación por su concordancia con los planteamientos educativos actuales.

3.1.3. DE LOS CONCEPTOS A LOS CONOCIMIENTOS Y DE LOS PROCEDIMIENTOS A LAS CAPACIDADES

En el desarrollo curricular de la LOGSE, se habla de contenidos que pueden ser conceptos, procedimientos y actitudes, y de la investigación como procedimiento de resolución de problemas. En la LOE se hace hincapié no tanto en la ciencia y lo que el científico sabe sino en lo que el alumno debe saber. Aquí, la metodología planteada para la resolución de problemas en la ESO es la indagación frente a la investigación de la LOGSE.

Desde ese punto de vista se plantean competencias del alumno en lugar de contenidos de la ciencia. En lugar de hablar de contenidos científicos se habla de conocimientos, lo que el alumno debe saber; en lugar de procedimientos se señalan capacidades, lo que el alumno tiene que ser capaz de hacer; y, por último se buscan actitudes, en ambos casos, pero en la LOE se enfoca más hacia cómo el alumno debe ser, en concordancia con el ciudadano responsable del que habla la Unión Europea. Se puede pues relacionar ambos planteamientos legislativos, como se indica en el esquema de la figura 3.3:

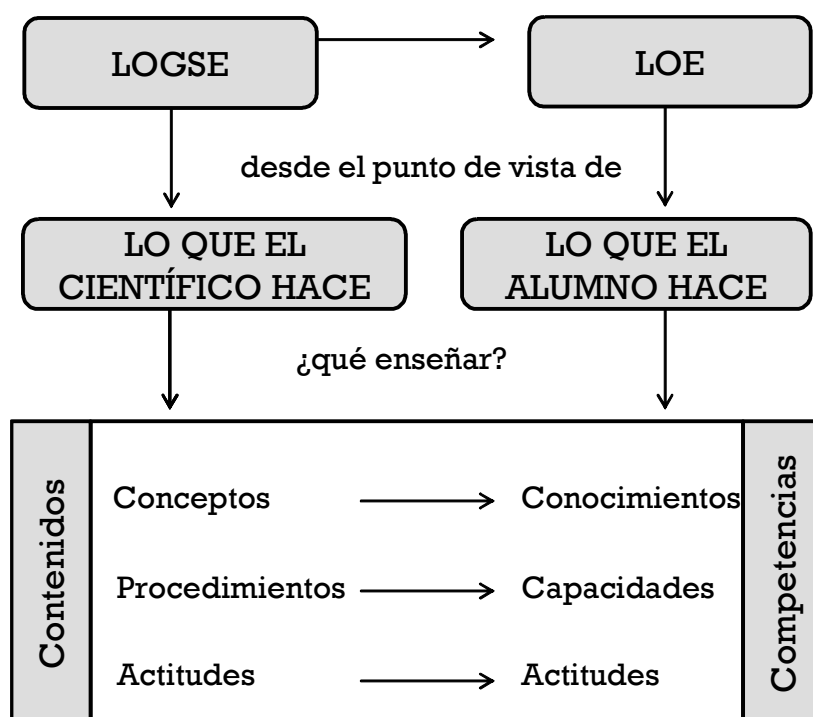


FIGURA 3.3. RELACIÓN ENTRE LAS PRESCRIPCIONES LOGSE Y LOE EN RELACIÓN A ENSEÑAR CIENCIA.

Aunque como se observa los matices son diferentes, ambas formas de expresión son compatibles con la metodología de enseñanza seguida en la presente investigación.¹

¹ Durante la finalización de la escritura de la memoria se aprueba la LOMCE, aunque en este momento aún no se ha desarrollado el currículo de bachillerato, lo que supone la continuidad en los centros escolares de secundaria de la vigencia de los currículos marcados por la LOE hasta el año 2015/2016 por lo que no se profundiza en su análisis.

3.2. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

La elaboración de la Unidad Didáctica necesita considerar diferentes aspectos que se desarrollan a continuación.

3.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

El presente trabajo investiga cómo los alumnos pueden basar la construcción de su aprendizaje en la resolución de problemas mediante la MRPI. Por ello, el éxito del aprendizaje depende en gran medida de la eficacia en la selección de los problemas abiertos que conforman el eje central de la Unidad Didáctica. Su elección debe permitir abordar todos los contenidos del currículo y su número debe posibilitar un desarrollo temporal adecuado.

Además, se precisa de la elaboración de materiales complementarios pues algunos contenidos abordados no se incluyen en los libros de texto. Estos materiales, que van a ser el soporte físico del trabajo personal y en el aula del alumnado, se elaboran cumpliendo requisitos imprescindibles como son la claridad, el fácil manejo o la adecuación curricular y, además, que se ajusten a las intenciones de la investigación para lo cual se tienen presentes, entre otras cosas, las concepciones alternativas recogidas en el Anexo I.

Por otro lado, deben ser lo suficientemente motivadores para que los alumnos muestren actitudes receptivas y positivas en lo que se refiere al propio proceso de aprendizaje en sí, tanto durante su desarrollo como posteriormente. Por ello, se recurre a la contextualización de las situaciones problemáticas, planteando problemas cercanos a su realidad, en la línea CTSA. Con la forma de trabajar la energía de la Biomasa se pretende que los alumnos, tras el aprendizaje de la Unidad Didáctica, no sólo hayan construido conocimientos relativos a las reacciones químicas, utilizando los métodos propios de las investigaciones científicas, sino que adquieran conciencia de los problemas ambientales que sufre la sociedad actual y, cabe esperar, que surjan actitudes positivas de conservación del entorno.

Así pues son muchos los elementos a tener en cuenta para abordar el diseño de la Unidad Didáctica, los más significativos se recogen en la figura 3.4.

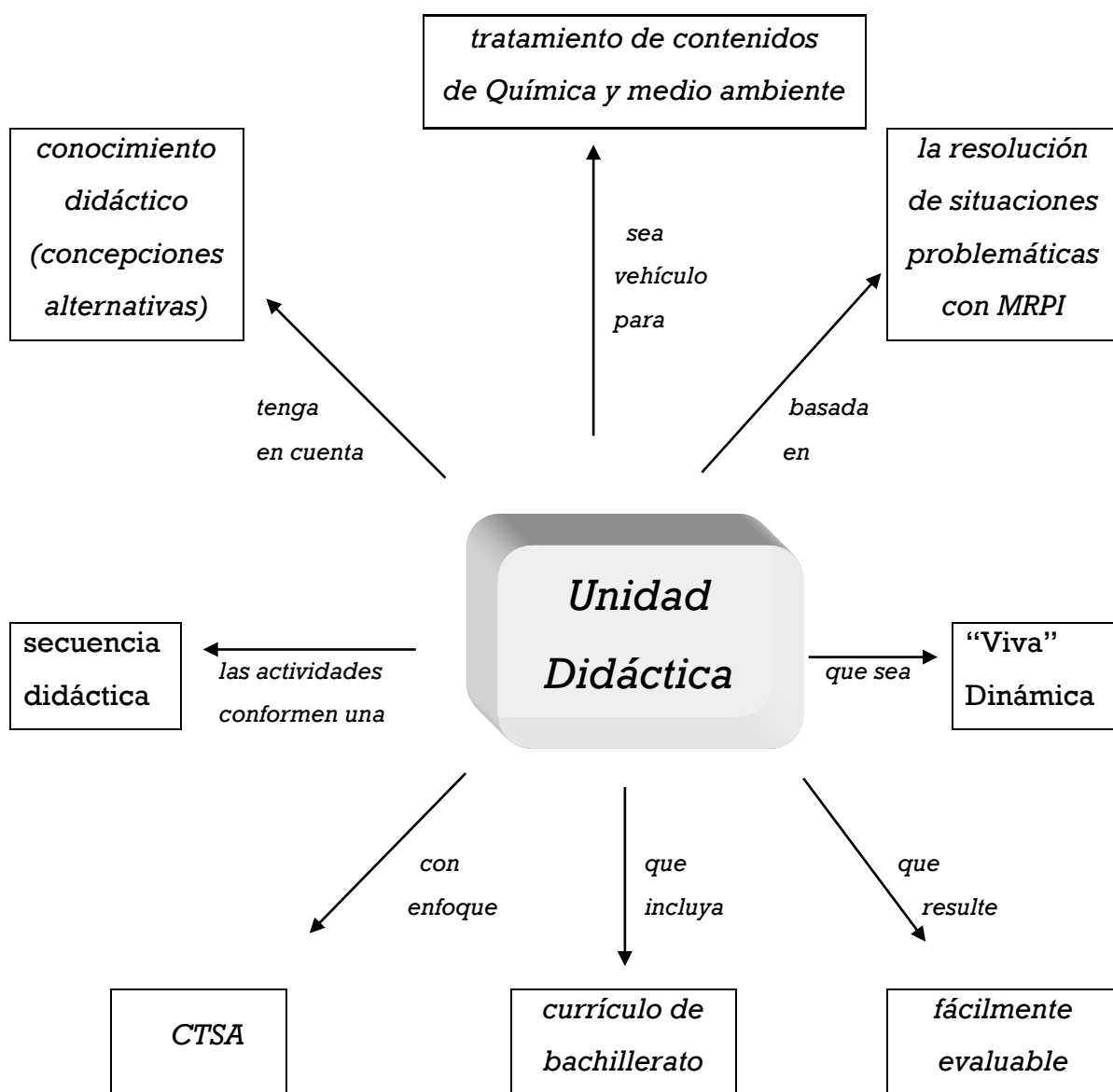


FIGURA 3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

La unidad se propone como un material dinámico, "vivo", pues es actualizable en cada momento según las características del alumnado, como sucede a lo largo de la investigación. En las diferentes fases, el cambio grupos e institutos de secundaria obliga a modificaciones de los materiales (lecturas, datos de contaminación de su ciudad, etc.) con la intención de hacerlos más cercanos y favorecer el interés y motivación de los participantes.

La Unidad Didáctica que se proporciona al alumno es pues un manual de guía y de consulta, que le permite buscar libremente la información necesaria

para resolver los problemas abiertos propuestos y que puede ser ampliada cuando se considere oportuno.

3.2.2. CONTENIDOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Los conceptos químicos del currículo oficial de bachillerato que se trabajan en la investigación se han estudiado en profundidad en el apartado 3.1. y se han resumen en la figura 3.1. En la Unidad Didáctica se entrelazan, de forma coherente, dichos conocimientos químicos con los medioambientales relativos a la energía de la Biomasa que será el eje conceptual central.

Desde el punto de vista de la Biomasa, la secuencia de contenidos se apoya en los intereses y motivaciones de los alumnos surgidos tras el estudio de entrevistas realizadas a alumnos de 1º de Bachillerato, en las que señalan de manera recurrente tres grandes cuestiones que les gustaría conocer:

1. ¿Qué es y cómo se genera?
2. ¿Cómo podemos utilizar la biomasa para obtener su energía?
3. ¿Qué ventajas o inconvenientes tiene su uso respecto a otras energías?

A partir de estos datos surgen las siguientes posibilidades de desarrollo:

La primera pregunta se refiere al *ORIGEN DE LA BIOMASA* y permite presentar la biomasa, sus tipos y su formación mediante la reacción de fotosíntesis. La segunda es relativa a su *UTILIZACIÓN* y posibilita la introducción de las transformaciones tanto materiales como energéticas que llevan a obtener energía a partir de ella. La última de las cuestiones se refiere a *VENTAJAS E INCONVENIENTES DE SU USO* frente a otras fuentes energéticas, lo que implica un estudio CTSA sobre el impacto medioambiental de esta fuente energética frente a otras, y las consecuencias socioeconómicas de su elección.

El esquema de presentación de la Unidad, a través de las preguntas clave sobre biomasa, es el que se muestra en la figura 3.5.

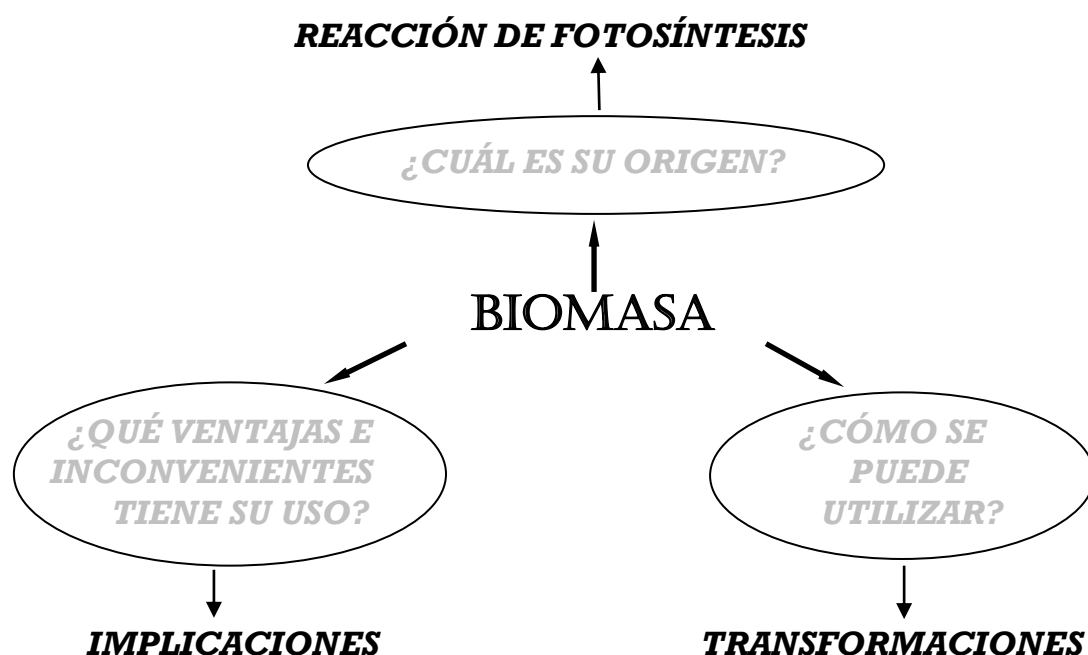


FIGURA 3.5. ESTRUCTURA CONCEPTUAL CENTRAL DE LA UNIDAD DIDÁCTICA A PARTIR DE TRES PREGUNTAS SOBRE BIOMASA.

El reto consiste en combinar los dos bloques de contenidos (sobre reacciones químicas en general y sobre la biomasa en particular), de forma organizada y coherente, para que se pueda construir el conocimiento, teniendo siempre presente las concepciones alternativas que se recogen en la bibliografía.

En la figura 3.6 aparecen entrelazados los conocimientos, relativos a biomasa y los relativos a reacciones químicas, que pueden tratarse a través de esta unidad.

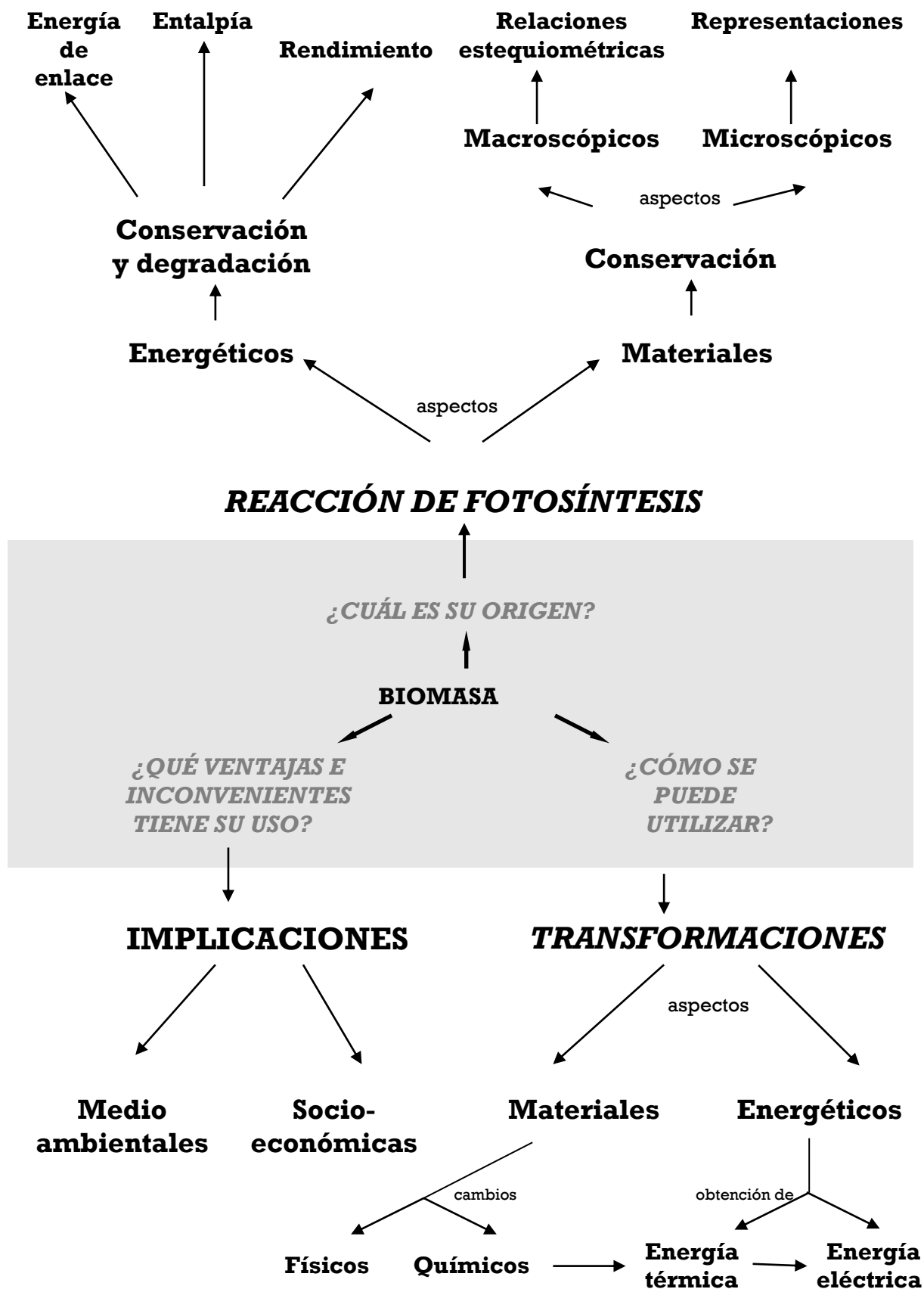


FIGURA 3.6. CONCEPTOS ABORDADOS EN LA UNIDAD DIDÁCTICA “REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA”.

De esta manera, el punto de partida es la reflexión sobre la primera de las cuestiones, el origen de la Biomasa. La introducción de la reacción de fotosíntesis lleva al planteamiento de aspectos materiales y energéticos de las reacciones químicas. Surge la idea de conservación tanto a nivel microscópico, de átomos, como a nivel macroscópico. Se introduce la conservación de la masa, la ley de Lavoisier. Todo ello lleva al estudio cuantitativo de una reacción a través de las relaciones estequiométricas. Paralelamente, los aspectos energéticos también tratan el concepto de conservación y degradación que se concreta en las reacciones químicas con el estudio de las energías de enlace, la entalpía de una reacción y el rendimiento energético de ésta, tratada también dentro de las relaciones estequiométricas.

El segundo bloque surge de la formulación de la segunda de las cuestiones de los alumnos, la utilización de la biomasa. Se tratan las transformaciones de la biomasa que permiten su uso como fuente de energía, tanto desde el punto de vista material como energético. Respecto a los aspectos materiales, la Unidad se centra en la necesidad de realizar cambios físicos y/o químicos en la materia prima para conseguir los combustibles idóneos para su utilización energética en la sociedad actual. Una vez adecuada la materia prima para su uso se estudian los aspectos energéticos propiamente dichos. En este sentido, la reacción de combustión es el punto de partida para analizar las transformaciones energéticas, por ejemplo para conseguir energía mecánica o eléctrica. Todo ello vuelve de nuevo a reforzar la idea de transformación, conservación y degradación de la energía en los procesos físicos y químicos.

Aunque el segundo bloque aborda los contenidos desde una perspectiva industrial y social, es en el tercer bloque donde se destacan, más directamente, las relaciones medioambientales y socioeconómicas. La tercera cuestión muestra el interés del alumnado en conocer las ventajas e inconvenientes del uso de la energía de la biomasa. Así, el conocimiento de los impactos medioambientales de las diferentes energías que se utilizan, permite valorar la aportación de la biomasa y, también, comprender la necesidad de un desarrollo sostenible en la sociedad actual.

3.2.3. PLANTEAMIENTO DE LAS SITUACIONES PROBLEMÁTICAS ABIERTAS

Las características de la Unidad Didáctica, lógicamente, se deben reflejar en los problemas seleccionados pues son la base de la misma. Se diseñan y secuencian siguiendo tres criterios:

- **La posibilidad de construcción del aprendizaje de conceptos sobre reacciones químicas y biomasa**, con una secuencia que favorezca la indagación de aquellos que se pretende vayan surgiendo.
- **Las concepciones alternativas de los alumnos**, para posibilitar el cambio conceptual del alumnado mediante la MRPI y que están agrupados en torno a estos siete conocimientos: características de los procesos físicos y químicos, conservación de la masa, representación y visualización de las sustancias y reacciones químicas, aspectos estequiometría y energéticos de las reacciones, reacciones de combustión y aspectos generales de la energía (ver Anexo I).
- **Las relaciones C-T-S-A**, que permiten contextualizar las situaciones problemáticas planteadas en un entorno cercano al alumno que resulte motivador.

En el cuadro 3.7 se recogen los problemas abiertos planteados en cada fase (12 para la primera y 10 para la segunda) y su secuencia dentro de la Unidad, siendo el último de ellos, en ambos casos, el utilizado para la evaluación formativa. La reducción en el número de situaciones planteadas en la segunda fase evita reiteración de ciertos contenidos que se dieron en la primera fase. El P1 y P2 de la fase I se han unificado en el P1 de la fase II por tratar ambos la energía de enlace. El P3 de la fase I desaparece por considerar que todos los problemas posibilitan un análisis a nivel microscópico de la situación planteada, y no es necesario trabajar de forma aislada este aspecto. El P7, de la misma fase, se elimina por ahondar en la velocidad de reacción, concepto no incluido en ese momento en el currículo y, tener margen, para proponer otras situaciones problemáticas que aporten al tratamiento de los contenidos curriculares de la Unidad. En su lugar se plantea el P8, experimental, de la fase II.

PA FI	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE I	PA FII	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE II
P₁	<input type="checkbox"/> ¿Qué molécula "tiene" mayor energía la de glucosa o la de oxígeno?	P₁	<input type="checkbox"/> El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere?
P₂	<input type="checkbox"/> ¿Quién tiene mayor energía de formación, el dióxido de carbono que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende?	P₂	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de dióxido de carbono, ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?
P₃	<input type="checkbox"/> ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua?	P₃	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?
P₄	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de CO ₂ , ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?	P₄	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel? *
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?	P₅	<input type="checkbox"/> -¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz? *
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel? *	P₆	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol?
P₇	<input type="checkbox"/> ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera? *	P₇	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas?
P₈	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz? *	P₈	<input type="checkbox"/> ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible? *
P₉	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire se necesita para quemar etanol?	P₉	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?
P₁₀	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno ¿Cuánto metanol puedo obtener de ese gas?		
P₁₁	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?		
P₁₂ EXA- MEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?	P₁₀ EXA- MEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?

CUADRO 3.7. SECUENCIA ORDENADA DE LOS PROBLEMAS ABIERTOS QUE CONFORMAN LA UNIDAD DIDÁCTICA “REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA” DURANTE CADA FASE EXPERIMENTAL. Los señalados con asterisco corresponden a problemas de diseño experimental.

En cuanto a la naturaleza del problema, se observa como las situaciones problemáticas 6, 7, y 8 de la fase I y 4, 5 y 8 de la fase II, se pueden resolver tanto como problema de lápiz y papel como de forma experimental, según el criterio del alumnado, aunque son diseñados, específicamente, para abordarlos desde una estrategia experimental. De hecho, en el caso del P6 de la fase I (P4 de la fase II) los alumnos, casi en su totalidad, decidieron realizar una resolución experimental ya fuese en su casa o en el laboratorio del instituto.

Aunque los conocimientos que se pueden trabajar en cada problema abierto son múltiples, la situación se diseña y propone en un momento determinado, buscando hacer hincapié en alguno de ellos para desarrollarlo expresamente. Esta selección se muestra en el cuadro 3.8.

Además, los problemas se contemplan como una progresión, unos van ampliando los conocimientos y el nivel de complejidad de los anteriores, más que constituir bloques compactos sin interconexión.

PROBLEMAS ABIERTOS -FASE I	PROBLEMAS ABIERTOS-FASE II	PRINCIPAL CONCEPTO QUE DESARROLLA
P6,P7,P8	P4,P5	PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO
P6	P4	CONSERVACIÓN DE LA MASA
P3,	P1, P4,P6,P7,P9,P10	REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS
P4,P5,P9,P10,P11,P12	P2,P3,P6,P7,P9,P10	RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS. REACTIVO LIMITANTE.
P6,P7,P11,P12	P4,P6,P8P9,P10	COMBUSTIÓN
P1,P2,P5,P12	P1, P3,P9	ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO
P5,P11,P12	P1,P3,P9,P10	ENERGÍA ,CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA

CUADRO 3.8. CORRELACIÓN ENTRE LOS PROBLEMAS ABIERTOS TRABAJADOS Y LOS PRINCIPALES CONCEPTOS QUE ABORDAN.

En la figura 3.7 se muestra la correlación de los problemas abiertos con los conceptos señalados en el esquema de la figura 3.6.

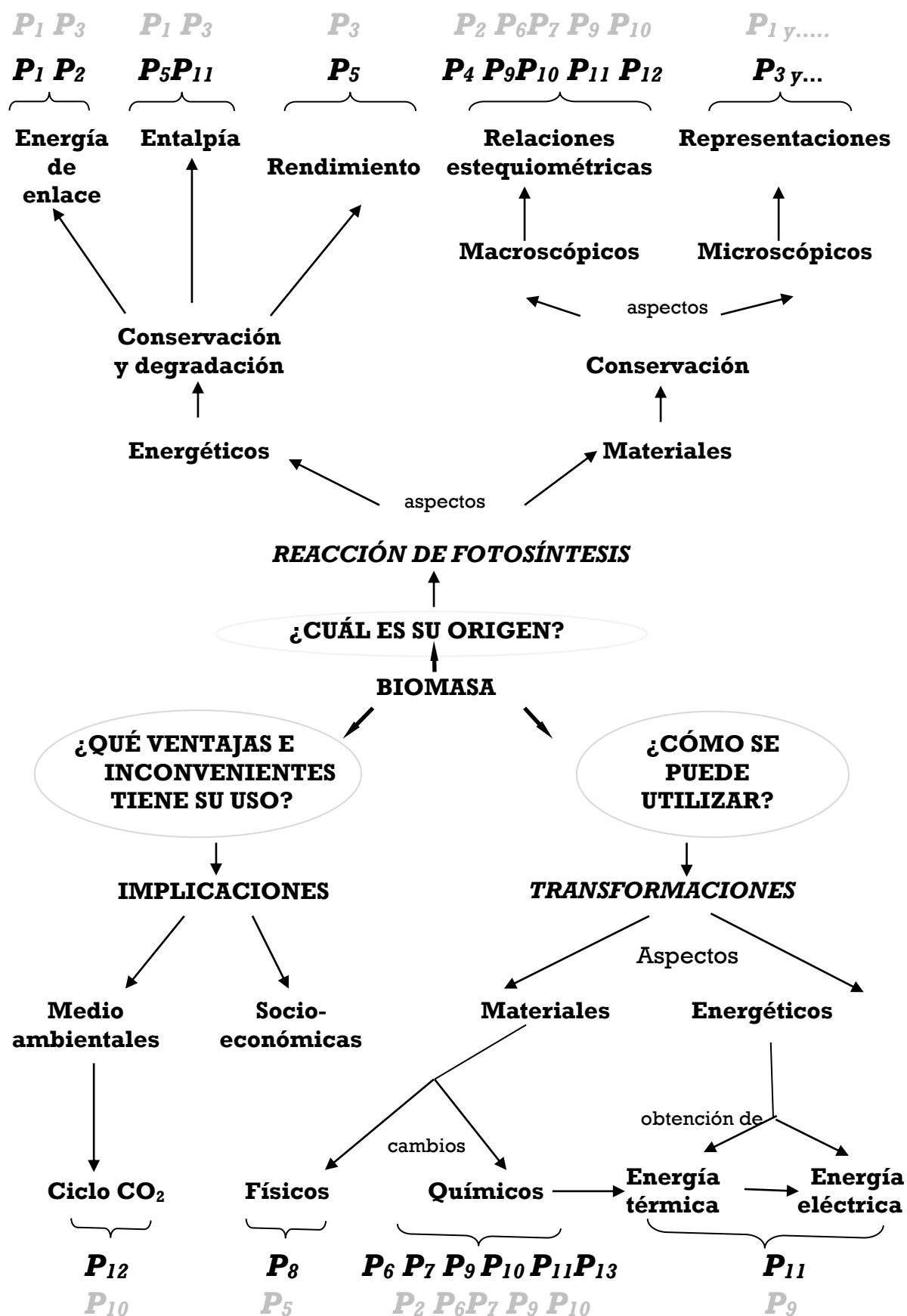


FIGURA 3.7. RELACIÓN ENTRE LOS PROBLEMAS ABIERTOS Y LOS CONTENIDOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA. Los P en negro corresponden a la fase I y los P en gris a la fase II.

3.3. LA UNIDAD DIDÁCTICA COMO MATERIAL DEL ALUMNO

Tras justificar la vertebración de la Unidad Didáctica, queda explicar su desarrollo real y concreto. La forma final de estos materiales complementarios se muestra en el Anexo II y su índice se detalla en la figura 3.8.

ÍNDICE
1.- ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?
2- TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS: HISTORIA DE LA ENERGÍA Y LA HUMANIDAD
3.- ENERGÍAS RENOVABLES
3.1. BIOMASA
3.2. ENERGÍA DE LA BIOMASA
3.3. ORIGEN DE LA BIOMASA:
- Fotosíntesis
- Representación de las reacciones químicas que tienen lugar en la fotosíntesis
- Productos de la fotosíntesis.
- Eficacia del proceso fotosintético: conservación y degradación de la energía
4.- USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE
5.- TRATAMIENTOS DE LA BIOMASA: PROCESOS FÍSICOS Y QUÍMICOS
5.1. PROCESOS FÍSICOS
- Preparación
- Extracción
5.2. PROCESOS TERMOQUÍMICOS
- Combustión
- Gasificación
- Pirolisis
5.3. PROCESOS BIOQUÍMICOS
- Fermentación alcohólica
- Digestión anaerobia
6.- TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA ELÉCTRICA
7.- CENTRALES TÉRMICAS DE COGENERACIÓN: AHORRO ENERGÉTICO
8. EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA EN NUESTRA SOCIEDAD
9.- LA BIOMASA Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
10.- EL INICIO DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA

FIGURA 3.8. ÍNDICE DE LA UNIDAD DIDÁCTICA “REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA”.

A continuación se explica brevemente cómo se introduce y desarrolla cada apartado de estos materiales de apoyo:

1. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?

La decisión de tomar la energía de la Biomasa como eje conceptual estructurante y motivador hace que se comience introduciendo la energía de forma general, seguida de un acercamiento CTSA en el siguiente apartado.

2. TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS: HISTORIA DE LA ENERGÍA Y LA HUMANIDAD

Las transformaciones se presentan con una visión histórica, desde los comienzos de la humanidad hasta la crisis energética que en el momento de la experimentación estaba en pleno auge (año 2000). Tras ello se muestran una serie de titulares de periódico sobre la crisis energética y se proporciona una selección de artículos que pueden llevar a los alumnos a reflexionar sobre la necesidad de la búsqueda de energías renovables. En este punto las perspectivas sobre la crisis energética y las lecturas pueden cambiar cada año.

3. ENERGÍAS RENOVABLES

La necesidad de promover las energías renovables debe suscitar el interés por conocer algo más de ellas. Así, se introduce el concepto de energía renovable y sus tipos, lo que conduce hacia la energía de la Biomasa. Se enumeran los tipos diferentes de Biomasa que existen y como se forman. El origen de esa energía da pie a presentar el concepto químico de energía de enlace (dependiendo del tipo de átomo y uniones entre ellos), entalpía de una reacción, unidades, convenio de signos termodinámicos, etc. La indagación de la procedencia de esa energía lleva a relacionarla con la energía del sol, de donde procede en última instancia. De esta forma, las transformaciones producidas en la fotosíntesis ayudan a entender los factores de los que depende una reacción, como son concentración de reactivos, temperatura, etc. Además, permiten introducir las representaciones microscópicas de las reacciones químicas y el estudio de aspectos cualitativos y cuantitativos, lo que lleva a la Ley de Lavoisier de conservación de la masa. Se presenta el significado de los coeficientes estequiométricos, tanto de forma numérica como a nivel microscópico, mediante las representaciones de los átomos. Se muestran relaciones de cantidad de sustancia, masas, volúmenes y el concepto de reactivo limitante

y en exceso. Todo ello permite abordar los cálculos estequiométricos. Para realizar algunos de los problemas propuestos es necesario conocer algunos productos de la fotosíntesis como son la glucosa, la celulosa, el almidón, etc. por lo que se incluyen datos al respecto.

En este apartado es importante entender la conservación y degradación de la energía a través de este proceso fotosintético, por lo que se muestran ejemplos de transformaciones energéticas donde se observa como la energía solar inicial que llega a la planta no es transformada en su totalidad, introduciéndose el concepto de degradación de la energía y de rendimiento energético de una reacción.

4. USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE

La Unidad comenzaba con una visión histórica de la energía y en este punto se realiza una retrospectiva para comenzar el estudio de una de las reacciones químicas más importantes del currículo de bachillerato: la combustión. Se señala cómo desde la prehistoria, la biomasa se ha utilizado como fuente energética en hogueras, chimeneas y... hoy en día... ¿quién no va a una barbacoa? Se estudian la oxidación en la combustión, los productos formados en función de los reactivos y la clasificación de las reacciones en función del signo de la entalpía asociada, incluso se esbozan brevemente ciertos aspectos cinéticos analizando factores que favorecen la velocidad de una reacción.

5. TRATAMIENTOS DE LA BIOMASA: PROCESOS FÍSICOS Y QUÍMICOS

La diferenciación clara entre cambio físico y cambio químico aparece como una de las cuestiones a estudio en las revisiones sobre concepciones alternativas. La Biomasa proporciona una base clara para su diferenciación. Se relatan procesos físicos, como la preparación de briquetas para chimeneas, en el que tan sólo la biomasa cambia su forma de almacenamiento, o la extracción de aceites combustibles de semillas con disolventes.

En cuanto a los procesos químicos, éstos se recogen divididos en dos grandes bloques. El primero corresponde a los procesos termoquímicos (combustión, gasificación y pirolisis), cuyo fin es la obtención de energía

por combustión directa, o la obtención de combustibles que sirven para el mismo fin. Así, el gas de síntesis da lugar a metanol y a gasolinas. El segundo bloque de reacciones es llevado a cabo por microorganismos, son los procesos bioquímicos (fermentación alcohólica y digestión anaerobia) que dan lugar a dos combustibles cuya demanda crece actualmente, el bioetanol y el biogás.

Este apartado 5 puede parecer muy denso por poseer muchos datos. En realidad su finalidad es proporcionar a los alumnos el material necesario para resolver los problemas abiertos propuestos, en ningún caso con la finalidad de su estudio memorístico. Por ejemplo, las tablas de proporción de metano en el biogás que generan diferentes restos biológicos, son necesarias para realizar problemas de estequiometría pues deben tener en cuenta el porcentaje de riqueza de los reactivos.

6. TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA ELÉCTRICA

La finalidad de producción de energía eléctrica es importante. Las centrales térmicas que utilizan carbón son muy contaminantes y se debe buscar otro combustible: la biomasa. Este hecho permite trabajar las transformaciones energéticas desde la energía luminosa del sol hasta la energía eléctrica que llega a los hogares, y que se transforma en energía mecánica, luminosa, sonora, térmica, etc. Las “perdidas energéticas” del proceso, principalmente en forma de energía calorífica, ejemplifican la conservación y degradación de la energía y permite trabajar el concepto de rendimiento energético y el significado real de la palabra “pérdida”.

7. CENTRALES TÉRMICAS DE COGENERACIÓN: AHORRO ENERGÉTICO

A partir de la degradación de la energía, se presentan las centrales térmicas de cogeneración, como ejemplo de recuperación de gran parte de la energía térmica que no se puede reutilizar en otro tipo de centrales más convencionales. Se muestran ejemplos de cómo se puede dar calefacción a un pueblo con esa energía que antes se daba por “pérdida”.

8. EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA EN NUESTRA SOCIEDAD

¿Qué le cuesta al planeta, y a nuestra salud, el desarrollo de la sociedad actual altamente dependiente de la energía? Los efectos secundarios de ese uso abusivo de fuentes energéticas contaminantes dan lugar a graves consecuencias medioambientales. Se explican brevemente los principales efectos contaminantes de los combustibles: lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, smog, el monóxido de carbono, el efecto invernadero y su relación con el cambio climático. Se introducen tablas con niveles de sustancias contaminantes en el aire, registradas en los lugares donde viven los alumnos del GEXP, manteniéndose así la perspectiva CTSA de la Unidad.

9. LA BIOMASA Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Este apartado muestra al alumnado cómo, efectivamente, la combustión de la biomasa también emite CO₂. Sin embargo, se presenta lo que se considera el ciclo cerrado de este gas cuando se vuelve a replantar la biomasa utilizada con fines energéticos. En este punto se puede reflexionar sobre la idoneidad de la biomasa como fuente energética.

10. LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA

A través de los artículos de prensa escogidos el alumno puede contrastar el desarrollo de energías renovables en España, en los momentos en los que se implementa la Unidad Didáctica. Se remarca especialmente la energía eólica, de la que somos líderes europeos en producción, y la biomasa, para muchos el futuro de la sostenibilidad. Los artículos seleccionados muestran un análisis socioeconómico interesante, a través del ejemplo de la lucha de diversos pueblos españoles por ser los adjudicatarios de la concesión para construir una planta de bioetanol.

En el Anexo II, donde aparece el conjunto de los materiales, se sugiere la posible ubicación de las situaciones problemáticas abiertas de la Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa”.

3.4. DESARROLLO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA EN EL AULA

La utilización de la Unidad Didáctica requiere una serie de consideraciones. La primera es que tanto los alumnos como la profesora conozcan la metodología investigativa a seguir, por lo que debe haber una toma de contacto previa en la que éstos se familiaricen con las pautas de resolución de la MRPI. Por otro lado, la peculiaridad de esta metodología supone que el trabajo en el aula sea algo diferente, siendo muy importante el trabajo cooperativo en grupo. Por último, la secuenciación de actividades debe estar bien diseñada y controlada para una coordinación adecuada con el GCON, tanto en contenidos como en temporalización.

3.4.1. TOMA DE CONTACTO CON LA MRPI Y PAUTAS DE RESOLUCIÓN DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS

Como se estudió en el apartado 1.5 el equipo de trabajo de Dra M^a Mercedes Martínez Aznar, partiendo del trabajo de Gil y Martínez Torregrosa (1983), ha venido desarrollando pautas de resolución para el trabajo en el aula en diferentes disciplinas científicas y niveles educativos (Varela, 1994; Ibáñez, 2003; Dopazo, 2004). En los años previos a la fase experimental, en los que la profesora-investigadora entraba en contacto con la MRPI se detecta la necesidad de adaptar las pautas metodológicas que se estaban utilizando en estos trabajos y que se han explicado ampliamente en el apartado 1.5. Así, se propone que sus cinco fases se pudiesen desarrollar a partir de una serie de preguntas o cuestiones que los alumnos deben plantearse en cada variable.

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROBLEMA:

¿Qué puedo decir de la situación planteada? (aspectos teóricos, condiciones, etc.)

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS:

¿Cómo propongo relacionar los factores implicados?

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS

“Voy a...”

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA:

Pasos detallados 1-... 2-....

5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:

¿Es lo que esperaba teóricamente? (mi hipótesis, unidades, magnitudes, etc.), compruebo coherencia con un caso con datos numéricos.

Partiendo de estas preguntas se elabora, expresamente, una plantilla para esta investigación, que se debe entender como un conjunto de pautas y no como un guión cerrado (figura 3.9).

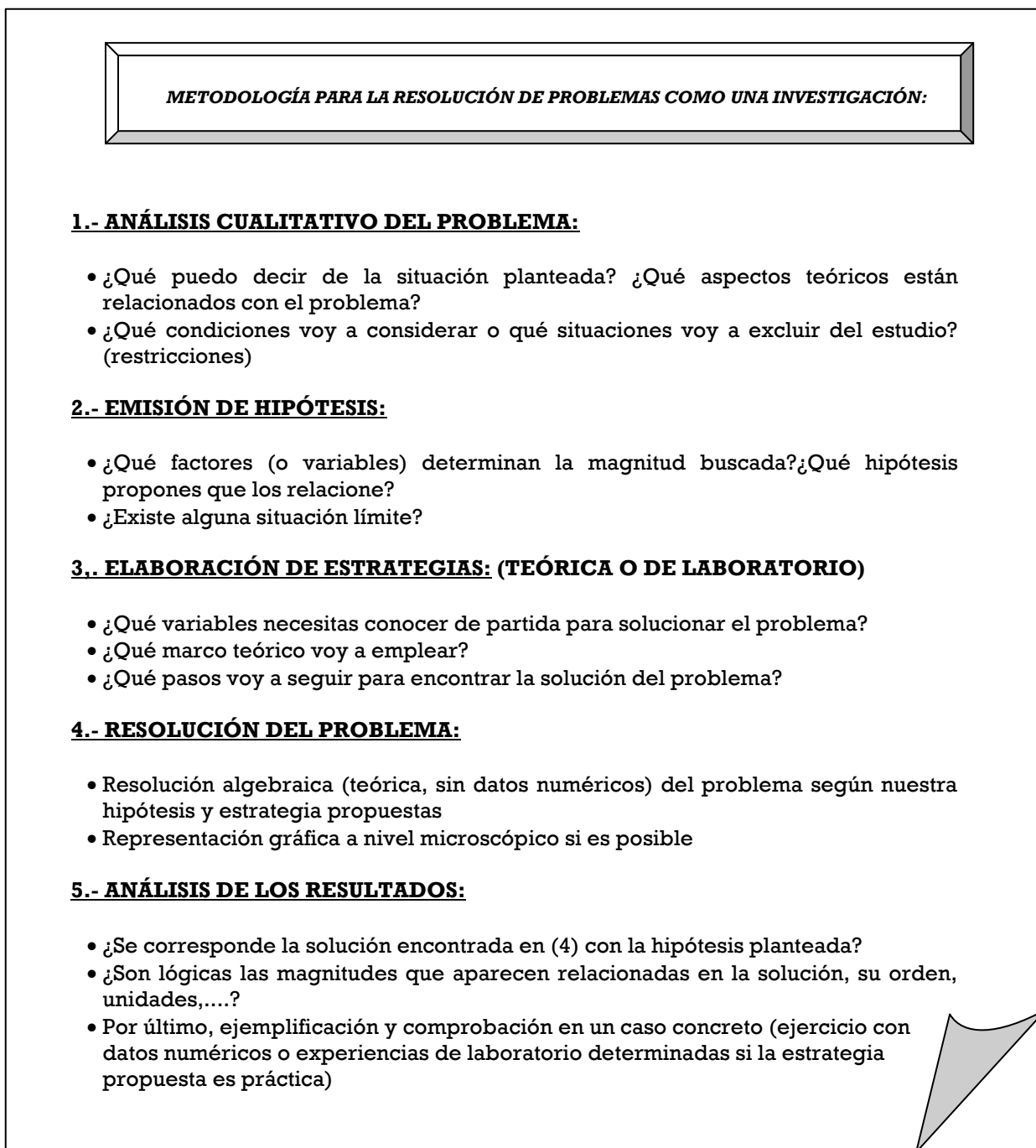


FIGURA 3.9. PAUTAS PARA LA RESOLUCIÓN DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS ABIERTAS MEDIANTE LA MRPI.

La primera toma de contacto de los alumnos en la resolución de situaciones problemáticas abiertas se va a realizar con el problema siguiente:

P₀: ¿Qué volumen tiene un sólido?

Este problema, por necesidades metodológicas de la investigación, se plantea al comienzo de las fases experimentales, para comprobar que los GEXP y GCON son estadísticamente homogéneos en la resolución de problemas abiertos.

El P₀ sirve como introducción a la MRPI de los alumnos del GEXP y no interfiere en los contenidos de la Unidad Didáctica pero, además, resulta muy útil pues se puede plantear su resolución de forma muy variada: como problema de lápiz y papel desde múltiples perspectivas (una resolución geométrica de sólidos regulares, a partir del concepto de densidad, etc.), o como una resolución de estrategia experimental en la que la resolución y análisis necesita de un trabajo en el laboratorio. Así, los alumnos toman conciencia de las posibilidades reales de resolución de un problema abierto y de las diversas hipótesis y estrategias que pueden plantear. Un ejemplo de resolución de este problema se muestra en el Anexo III.

Además, en los meses previos a la fase experimental, se seleccionan una serie de situaciones problemáticas que muestran la nueva forma de trabajar. Éstas, constituyen un pequeño número de problemas, suficientes para ejemplificar tanto la forma de abordar las variables metodológicas como las dos formas posibles de resolución (de lápiz y papel y experimental), y que tratan conceptos referidos a cantidad de sustancia, presiones de gases o densidad, no incluidos en la unidad objeto de estudio. Los problemas trabajados en ambas fases se muestran en el cuadro 3.9.

PROBLEMAS PREVIOS FASE I	PROBLEMAS PREVIOS Fase II
¿Qué volumen tiene un sólido?*	¿Qué volumen tiene un sólido?*
¿Qué densidad tiene un líquido?*	¿Qué ocurre cuando juntamos dos líquidos?*
¿Qué ocurre cuando juntamos dos líquidos?*	¿Cuánto hierro hay en una barra de este material?
¿Cuánto hierro hay en una barra de ese material?	¿Qué presión tiene una bombona de butano?
¿Qué presión tiene una bombona de butano?	

CUADRO 3.9. SECUENCIA ORDENADA DE LOS PROBLEMAS ABIERTOS QUE SE TRABAJAN COMO TOMA DE CONTACTO CON LA MRPI. Los señalados con asterisco corresponden a problemas de posible resolución experimental en un laboratorio.

Cabe destacar que, en la toma de contacto, el trabajo realizado por los estudiantes es individual, dirigido y ejemplificado por la profesora-investigadora. No se realizan puestas en común por grupos de alumnos pues, en este momento, no se pretende desarrollar la investigación sino que los alumnos conozcan las variables metodológicas a trabajar y mostrar las posibilidades de resolver una situación de forma práctica o teórica.

Los trabajos de Ibáñez (2003) y Varela (1994) avalan la decisión de la toma de contacto previa a la implementación de la Unidad.

3.4.2. EL TRABAJO INDIVIDUAL Y EN GRUPO EN EL AULA

Después de la toma de contacto con la MRPI, se muestra cómo durante el proceso de enseñanza-aprendizaje se trabaja de forma individual y grupal, siendo muy importantes tanto la interacción entre profesor-alumno como entre iguales.

En el capítulo 1 se ha visto que la bibliografía sugiere que el trabajo en pequeños grupos mejora muchas estrategias y habilidades de los alumnos en cuanto a la resolución de problemas y su motivación (Cooper et al., 2008; Barbosa et al., 2004). El trabajo cooperativo va a permitir que se genere un conflicto sociocognitivo fundamental para el desarrollo personal de la metacognición y el aprendizaje. Si se parte de la idea de que los alumnos “*aprenden de los otros*” cuando se trabaja en grupo actividades científicas que requieren de planificación de investigaciones (Oshima et al., 2004; Kempa & Ayob, 1995), se propone el trabajo en clase con la MRPI en grupos cooperativos.

Para ello, al inicio del trabajo con la Unidad Didáctica, se presenta a los alumnos la metodología de trabajo, basada en la resolución de una serie de situaciones problemáticas abiertas y que el material de apoyo no era el libro tradicional sino una nueva Unidad Didáctica diseñada para ello. Además, se señala la importancia del trabajo cooperativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje y, se expone la forma de trabajar tanto individual como en grupo. Los estudiantes forman libremente grupos de 4 a 5 componentes que se mantienen durante toda la investigación.

Las producciones individuales de partida se elaboran individualmente y en su mayor parte en casa, y luego se ponen en común en cada grupo y se

debaten. La discusión que surge en la toma de decisiones resulta ser semejante a la que llevarían a cabo un grupo de científicos debatiendo sobre el problema (Hogan, 2002). Todo ello lleva a los estudiantes a la elaboración de una única propuesta de resolución consensuada entre todos que resulta más enriquecedora y completa que las individuales.

Aunque, lógicamente, esta forma de trabajar supone que el intercambio de ideas dentro del grupo ayuda al aprendizaje, la evaluación del aprendizaje debe realizarse de forma individual. Por ello se recogen y analizan, a lo largo del todo el proceso de aprendizaje, las producciones individuales, cuya progresión refleja tanto la aportación personal como lo aprendido en las situaciones anteriores de sus compañeros.

Por otra parte, la comunicación es fundamental para el desarrollo intelectual de los alumnos y para la adquisición significativa del conocimiento (Parra, 2009). Se favorece así, alcanzar unos niveles superiores de resolución (Kyle, 1984, en Balfakih, 2003) y una mayor permanencia en el tiempo de éstos (Donmoyer, 1996, en Balfakih, 2003), que es una de las hipótesis planteadas en la presente investigación. Efectivamente, se observa cómo los alumnos comienzan resolviendo los problemas con estrategias muy simples y formas de resolución sencillas pero, al mismo tiempo, eligen resolver la tarea planteada de una forma más compleja en su exposición de grupo. Esta confianza se transmite poco a poco a sus producciones individuales que cada vez son más completas.

Si se considera que el conocimiento se adquiere a través de la interacción con otros y a través del lenguaje (Rivard & Straw, 2000), parece importante que los alumnos sean capaces de comunicar sus conocimientos, no solo en forma escrita en su trabajo individual en casa, sino de forma oral y dinámica en la clase. Por ello al final de cada resolución, se realiza una propuesta de grupo y se expone a toda la clase, lo que les posibilita razonar y defender sus propuestas científicas así como tomar decisiones críticas sobre las de otros. El esfuerzo en comunicar su elección, elaboración y resolución al resto de la clase ejercita una de las capacidades básicas para el aprendizaje. Esta fluidez se reflejará también en el análisis individual de la variable de verbalización.

En el aula el trabajo dentro del grupo es coordinado por un portavoz-secretario que es el encargado de recoger y reproducir el informe final y de

organizar la exposición grupal al resto de la clase, contando con la participación de todos los integrantes del grupo. Es importante señalar que dicho rol debe ser adoptado por personas diferentes en cada uno de los problemas abiertos, así todos los alumnos rotan en ese papel. Se evita así una posible jerarquización del grupo y que los alumnos estén más pendientes del producto final a entregar al profesor que a compartir el conocimiento y el trabajo (Reigosa & Jiménez, 2001). Si fuese así, lejos de lograr el desarrollo de las capacidades de todos los alumnos del grupo, se afianzarían complejos o inseguridades individuales que no permitirían el progreso deseado.

Como se observa, en todo el proceso se es fiel a los modelos didácticos constructivistas. El alumno es el responsable de su propio aprendizaje y la profesora-investigadora orienta y guía el proceso de enseñanza-aprendizaje.

3.4.3. SECUENCIA DEL DESARROLLO DE ACTUACIONES EN EL GEXP

Para un adecuado desarrollo de las actuaciones a seguir en el desarrollo de la Unidad Didáctica, se plantea el control de los tiempos para poder seguir una temporalidad similar a la de los GCON.

Si se tiene en cuenta que las sesiones de clase con los alumnos corresponden a periodos lectivos de 55 minutos, la temporalización de las sesiones en las que solamente se trabaja un problema abierto de lápiz y papel es, de forma general, la siguiente:

- Entrega a la profesora por parte del alumno el trabajo individual de resolución del problema abierto planteado, realizado en casa.
- Se fotocopia mientras se sitúan en grupo, se prepara el secretario y comienzan a comentar el trabajo personal.
- Se entrega la fotocopia individual y continúan con la puesta en común (20 minutos).
- Redactan la solución consensuada (5-10 minutos).
- Cada grupo, a través del secretario-portavoz de ese día (rotan) y con ayuda de los miembros del equipo, expone al resto de la clase su propuesta (unos 5 minutos por grupo).
- La profesora indica conclusiones, resuelve dudas e indica posibilidades no contempladas.

Para las propuestas de carácter experimental se necesita, en la mayoría de los casos, una sesión adicional para su resolución en el laboratorio.

En el resto de las sesiones no se sigue pautas fijas, sino que los tiempos se distribuyen según se desarrolla la Unidad y surgen los contenidos. La elaboración de un diario de clase que siga las incidencias del trabajo en el aula ayuda a delimitar las actividades que se desarrollan y su temporalización, para no sobrepasar el tiempo que utiliza el GCON.

En el cuadro 3.10 aparecen las diferentes actuaciones llevadas a cabo y se acompañan de pequeñas informaciones como en qué momento de la Unidad se introduce, cómo interviene el profesor en esa sesión y cómo interactúan los alumnos. Como hay actividades que se desarrollan en clase y otras se llevan como trabajo para casa, éstas últimas se señalan con *. Las flechas indican que hechos surgen antes y cuales después, aunque la interacción entre profesora-alumno es continua. Para facilitar la comparación entre fases se muestran ambas conjuntamente.

La correlación para ambas fases se ha podido seguir pues la Unidad es, en términos de contenidos, la misma, salvo la diferencia de materiales de apoyo y los problemas abiertos propuestos en cada año, por lo que se observan coincidencias importantes en la temporalización y desarrollo de la Unidad Didáctica en el aula.

Aunque la pretensión para la segunda fase es disminuir el número de sesiones reduciendo el número de problemas abiertos planteados, esto no fue posible. En cambio sí se consigue mayor serenidad en la resolución de las situaciones problemáticas y mayor profundización en los contenidos que aparecen en éstas, sobre todo en las de tipo experimental.

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
¿QUÉ ES LA ENERGÍA?	Presentación de la U.D. y la metodología de aula.	Forman los grupos de trabajo y nombran los primeros portavoces.	Se presenta la unidad, se explica la metodología y se forman los grupos.	S1-FI	S1-FII
TRANSFORMACIONES ENERGÉTICAS HISTORIA DE LA ENERGÍA Y LA HUMANIDAD	Introducción y motivación a la Unidad.	Comentan impresiones sobre el problema energético y leen artículos que se pueden llevar a casa para completar su lectura.	Se presenta la evolución histórica del uso de la energía y sus implicaciones en la evolución histórica de la humanidad. Se proporcionan lecturas de artículos de prensa		
ENERGÍAS RENOVABLES BIOMASA	Presentación de las energías renovables. Video "las otras energías".	Comentario de las impresiones recogidas de los artículos seleccionados. Los estudiantes hacen preguntas sobre las energías renovables y otras cuestiones. Comentario del vídeo en grupo y en voz alta. Los alumnos quieren conocer más sobre las renovables y en concreto sobre la energía de la biomasa y preguntan cuestiones como tipos de biomasa, transporte, usos, etc.	Guía de la puesta en común de las reflexiones sobre los artículos. De las preguntas de los alumnos se parte para introducir conceptos como energía, energía renovable y tipos. Se reflexiona sobre la necesidad del uso de energías alternativas y se pone el video y luego se comenta	S2-FI	S2-FII
LA BIOMASA	Presentación de la biomasa y tipos.	Surge la pregunta (entre otras) ¿de dónde procede la energía de la biomasa?	Se explica ¿qué es la biomasa? tipos, etc. Se trabaja desde la pregunta ¿de dónde procede la energía de los compuestos en general y de la biomasa en particular? Surgen y se trabajan conceptos como <i>Energía de enlace. Entalpía y su signo</i>		
ENERGÍA DE LA BIOMASA	Investigación ¿De dónde procede la energía de la biomasa.	*Recogen, reflexionan y se llevan a casa para trabajar el (P ₁ -FI): ¿Qué molécula "tiene" mayor energía de formación, la glucosa o el oxígeno? (P ₁ -F-II): El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere?	Se entrega el P ₁ Los alumnos piden materiales sobre fórmulas de la glucosa y tablas de energías de enlace. Se entregan los materiales de la unidad "productos de la fotosíntesis" y las tablas de entalpías de enlace.	S3-FI	S3-FII

CUADRO 3.10 (1/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
	Puesta en común del (P ₁).	Trabajan en grupo el P ₁ y exponen las diferentes estrategias y resoluciones propuestas. Surgen conceptos como balance energético o cuestiones como posibles situaciones de energía química cero y cuestiones semejantes a la bibliografía de concepciones alternativas como si elementos como el O ₂ o compuestos inorgánicos como el agua "tienen" energía. Se preguntan sobre los compuestos de la biomasa y su energía, la formación y su liberación.	Se recoge el trabajo individual P ₁ y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición de las conclusiones de cada uno. Surgen y se abordan los conceptos de energía de una reacción, balance energético, entalpía estándar, etc.	S4-FI	S4-FII
ORIGEN DE LA BIOMASA	Análisis del origen de la biomasa, la reacción química de la fotosíntesis.	<i>*Se llevan para trabajar el (P₂-FI) ¿Quién "tiene" mayor energía de formación, el dióxido de carbono que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende?</i>	Se reconducen las preguntas surgidas con el P ₁ hacia la formación de la biomasa. Se analiza la reacción química de la fotosíntesis desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Se entrega el P ₂ para la fase I.	S5-FI	S5-FII
REPRESENTACIÓN DE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE TIENEN LUGAR EN LA FOTOSÍNTESIS	Puesta en común del (P ₂ -FI).	Trabajan en grupo y exponen el P ₂ , es muy parecido al P ₁ y se tarda poco tiempo. <i>* Trabajo (P₃-FII) ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua?</i>	Se recoge el trabajo individual P ₂ -FI y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición de las conclusiones de cada uno. Surgen cuestiones como conservación de la masa y la energía. Se observa la conservación de átomos en las representaciones presentadas. Se entrega el P ₃ a la Fase I	S6-FI	NO
	Puesta en común del (P ₃ -FI).	Trabajan en grupo y exponen el (P ₃ -FI).	Se recoge el trabajo individual P ₃ y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición de las conclusiones de cada uno.	Inicio S7-FI	NO

CUADRO 3.10 (2/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
	Se trabajan las reacciones químicas y sus representaciones.	Los estudiantes se plantean la necesidad de representar reacciones químicas y realizan preguntas sobre el significado de los coeficientes y subíndices y cuestiones como la conservación del n° y clase de átomos. También recuerdan cómo pueden realizar cálculos estequiométricos.	Se recalca la importancia de que, cuando sea posible en un PA, realicen en el análisis de la situación una representación. Surge la necesidad de introducir las formas de representar las reacciones, su representación microscópica y simbólica en forma de ecuación, el significado de los coeficientes, etc. y cálculos estequiométricos. Se ejemplifica a través de la reacción de la fotosíntesis.	Final de S7-FI	S6-FII
		*Trabajo (P4--FI)/(P2-FII): "Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de CO ₂ , ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?"	Se entrega el (P4--FI) y (P2-FII): Los alumnos solicitan material de la unidad como la fórmula de la glucosa y la reacción fotosintética, se les proporcionan ambas de los materiales de la U.D.		
	Puesta en común (P4-FI)/(P2-FII).	Los grupos adoptan diversas estrategias de resolución elaborando entre todos los grupos diversas propuestas: relaciones de masa-masa, volumen-masa, cantidad de sustancia-masa, etc. Surgen ideas de acerca del cálculo de volúmenes, de masas, condiciones de P y T recordando la ecuación de los gases ideales. Reconocen la necesidad de escribir la ecuación y ajustarla. Así como la conservación de la masa y tipos de sistemas por estar en un recipiente cerrado. Surge la idea de reactivo limitante y en exceso. En algunos casos preguntan sobre pureza del CO ₂ (reactivo) o del rendimiento de la reacción.	Se recoge el trabajo individual y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición de las conclusiones de cada uno. Se trabajan entre todos los conceptos que van surgiendo como conservación masa, sistemas materiales, reactivo limitante, etc. Se organiza la exposición desde el grupo que ha realizado el desarrollo más simple (cantidad de materia), después en relaciones de masa y luego en relaciones masa-volumen. Por último los que han tenido en cuenta rendimientos o impurezas en los reactivos.	S8-FI y S9-FI	S7-FII y S8-FII

CUADRO 3.10 (3/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
EFICACIA DEL PROCESO FOTOSINTÉTICO	Transformación, conservación y degradación de la Energía en la fotosíntesis.	Surgen preguntas sobre el papel de la luz solar y la relación con el recipiente hermético (los conceptos de conservación y degradación van apareciendo). *Trabajo (P ₅ -FI)/(P ₃ -FII): ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?	Tras la conservación de la masa surgen ideas sobre la transformación y conservación de la energía solar. Se comenta la conservación-degradación de la energía a través de la eficacia del proceso fotosintético, el concepto de rendimiento energético y la semejanza con los cálculos estequiométricos materiales. Se entrega (P ₅ -FI)/(P ₃ -FII).	Final S9-FI	Final S8-FII
	Puesta en común (P ₅ -FI)/(P ₃ -FII).	Trabajan en grupo y exponen el (P ₅ -FI)/(P ₃ -FII).	Se guía la consolidación de los conceptos de la sesión anterior y de ésta.	S10-FI	S10-FII
USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE	Reflexión sobre utilización de la energía de la Biomasa	Proponen formas de recuperar la energía de la biomasa. Surgen ideas como la digestión de un alimento o la combustión. *Trabajo (P ₆ -FI)/P ₄ -FII: ¿Se conserva la masa al quemar papel	Se dirige el debate sobre el uso de la energía de la biomasa. Llegamos a la combustión recordamos la reacción. Se introduce el concepto de H de una reacción, se recuerda el convenio de signo los diagramas de entálpicos. También se trabaja el concepto de poder calorífico y ciertos aspectos cinéticos de las reacciones químicas. Se entrega (P ₆ -FI) / (P ₄ -FII)	S11-FI	S11-FII
	Puesta en común (P ₆ -FI)/P ₄ -FII)	Trabajan en grupo y exponen su diseño experimental que demuestre la conservación de la masa en la combustión. Controlan el escape de gases por globos o recipientes cerrados, comprueban que se apaga enseguida y piden ayuda a la profesora para aporte de oxígeno.	Se recoge el trabajo individual P6 y se dirige el trabajo de los grupos en el laboratorio. Surgen en todos la necesidad de escoger un sistema cerrado. El aporte adicional de oxígeno solicitado por algunos grupos se propone impregnando el papel con nitrato de potasio.	S12-FI	S12-FII
	Velocidad de reacción.	*Trabajo (P ₇ -FI): ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera?	Se entrega (P ₇ -FI)	Final S12-FI	NO
	Puesta en común (P ₇ -FI).	Puesta en común (P ₇ -FI): Todos han experimentado troceando papel o madera (palillos casi siempre).	Exposición rápida pues hay pocas diferencias. Se comentan otras variables cinéticas además de la superficie de contacto de los reactivos.	Inicio S13--FI	NO

CUADRO 3.10 (4/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
TRATAMIENTOS DE LA BIOMASA	Procesos físicos y químicos de transformación de la biomasa.	*Trabajo (P ₈ -FI)/(P ₅ -FII) ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz? →	Se comentan las transformaciones físicas y químicas que ha de sufrir la biomasa para su uso como combustible. Se comienza por los procesos físicos.	Final de S13-FI	Final de S12-FII
	Puesta en común (P ₈ -FI)/(P ₅ -FII).	Trabajan en grupo y exponen el P _A . Trabajan en el laboratorio la resolución que el grupo decide. Realizan un solo montaje por grupo y anotan los resultados individuales y de grupo. Unos piden distintos disolventes y otros prueban con distintos tipos de maíz (fresco, seco, molido) y el mismo disolvente, controlando las variables. ←→	Se recoge el trabajo individual P ₆ y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición de las conclusiones de cada uno con distintos tipos maíz y distintos disolventes. Se analizan los factores de humedad, factores cinéticos como el tamaño, la adecuación de disolventes según su polaridad, etc.	S14-FI	S13-FII
PROCESOS TERMOQUÍMICOS	Presentación de los procesos termoquímicos.	Escuchan y participan en la exposición de los distintos tipos de procesos y piden la información de las reacciones implicadas. → *Trabajo (P ₉ -FI)/(P ₆ -FII) ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol? ←	Se comentan los procesos de combustión, gasificación y pirólisis. Se ofrece información de los procesos de formación de combustibles (metanol o gasolinas a partir del gas de síntesis. Se entregan los materiales de la U.D. con las reacciones. Se entrega (P ₉ -FI)/(P ₆ -FII)	S15-FI	S14-FII
	Puesta en común (P ₉ -FI)/(P ₆ -FII).	Trabajan en grupo y exponen el (P ₉ -FI)/(P ₆ -FII). Surgen ideas como proporción de oxígeno en el aire o pureza del etanol lo que lleva a muchos grupos a realizar cálculos estequiométricos algo más complejos. → *Trabajo (P ₁₀ -FI)/(P ₇ -FII) Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene metanol, mediante un proceso de gasificación, que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas	La resolución ocupa toda la hora por la variedad de los aspectos que tienen en cuenta los alumnos, la riqueza del aire, densidad del etanol, riqueza del etanol, que aportan cada grupo. → Se entrega el (P ₁₀ -FI) y (P ₇ -FII.) Es un proceso termoquímico. Las reacciones necesarias se pueden deducir aunque aparecen en los materiales de la U.D. de la sesión anterior.	S16-FI	S15-FII

CUADRO 3.10 (5/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
	Puesta en común (P ₁₀ -FI)/ (P ₇ -FII).	Trabajan en grupo y exponen (P ₁₀ -FI)/(P ₇ -FII). Manejan las tablas de la UD sobre proporción de CO y H ₂ en el gas de síntesis o parten de proporciones imaginadas por el grupo. *Trabajo (P ₈ -FII) ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible?	Se recoge el trabajo individual P6 y se dirige el trabajo de los grupos y la exposición. Sigue siendo un proceso termoquímico pero con nuevos matices como rendimiento de la reacción o pureza de los reactivos. Se entrega el (P ₈ -FII.)	S17-FI	S16-FII
	Puesta en común (P ₈ -FII).	Trabajo en grupo y exposición. Surgen en algunos grupos palabras más técnicas que calor como poder calorífico pero también tienen en cuenta que no contaminen. Además de realizar un montaje en grupo los alumnos experimentan con los residuos que ha traído cada uno (pelo, poso café, excremento de vaca, etc.). La sesión se alarga algo tomando tiempo al recreo escolar.	Se analiza el concepto de poder calorífico de un combustible y contaminación atmosférica. Los montajes son similares en todos los grupos: calentamiento de agua y observación del incremento de T (misma cantidad de residuo). Los alumnos no han podido terminar esta parte individualmente por no tener el montaje adecuado en casa y anotarán sus resultados con su residuo.	NO	S17-FII
PROCESOS BIOQUÍMICOS	Presentación de los procesos bioquímicos de fermentación alcohólica y digestión anaerobia.	*Trabajo (P ₁₁ -FI)/(P ₉ -FII). ¿Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día? Toman contacto con los nuevos procesos. Solicitan las reacciones químicas y las tablas de contenidos de gas.	Se entrega (P ₁₁ -FI)/(P ₉ -FII) lo que hace que surja la necesidad de presentar los procesos bioquímicos. Se les proporciona el material de la unidad con tablas de proporción de metano según el residuo y solicitan la entalpía de combustión del metano que se les proporciona así como el rendimiento energético de la reacción. Se muestran proporciones de las basuras de su comunidad.	S18-FI	S18-FII
	Puesta en común (P ₁₁ -FI)/ (P ₉ -FII).	Trabajo en grupo y exposición. Surgen cuestiones sobre la degradación de la energía y el rendimiento energético de los procesos. Análisis de las ventajas e inconvenientes del etanol frente a la gasolina.	Trabajan cálculos estequiométricos con porcentajes tanto en lo referente a la pureza de reactivos como el rendimiento energético, aunque al final este último no se recoge en el grupo aunque si en el análisis general de todos.	S19-FI	S19-FII

CUADRO 3.10 (6/7)

APARTADO DE LA U.D.	ACTUACION	INTERVENCIÓN DEL ALUMNO	INTERVENCIÓN DEL PROFESOR	SESIÓN	
				Fase I	Fase II
TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA ELÉCTRICA AHORRO ENERGÉTICO: CENTRALES TÉRMICAS DE COGENERACIÓN EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA EN NUESTRA SOCIEDAD.	Final de exposiciones (P ₁₁ -FI)/ (P ₉ -FII). y reflexiones sobre energía de residuos. Problemas de contaminación atmosférica.	Comentan la cantidad de energía que se puede obtener de las basuras. Preguntan sobre capacidad de su ciudad y rendimiento de la reacción y de la central. Vuelven a hablar de pérdidas y ya se corrigen entre ellos. Ven el video de cogeneración. Comentarios y reflexión. Surge el tema de la incineración de basuras, y los problemas de salud y medioambientales. El interés es grande en la FII por su cercanía de una incineradora. En FI el problema cercano que les preocupa es el ozono contaminante.	Se ahonda en la conservación y degradación y se siguen las transformaciones de la biomasa hasta producir energía en nuestros hogares. Se presenta una propuesta de ahorro energético mediante la cogeneración, presentado en un video. A partir de la incineración de basuras y los problemas ambientales que perciben (el olor se percibe de vez en cuando en el IES de la FII). Se recuerdan los principales problemas de contaminación atmosférica y se estudian los niveles en su localidad.	S20-FI	S20-FII
LA BIOMASA Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA INICIO DE LA UTILIZACIÓN DE BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA	Ventajas e inconvenientes del uso de la Biomasa como fuente de energía. Estudio de las energías renovables en España.	Se plantean si es una energía del todo limpia. Debate sobre si es verdad el coste cero del ciclo de CO ₂ y sobre el protocolo de Kyoto. Se interesan sobre la obtención de energía del metano de las basuras de Madrid y si tenemos centrales de cogeneración o de algún tipo de biomasa Se debate con la profesora y se recogen artículos para lectura en casa	Se debate sobre el ciclo del CO ₂ . Se sugieren lecturas de su interés, sobre el cambio climático y otros efectos contaminantes Se explica la situación actual y se introducen artículos sobre la lucha entre ciudades por acoger una central generadora de bioetanol. Reflexión sobre ventajas e inconvenientes (ambientales y socioeconómicos).	S21-FI	S20-FII
Evaluación		Realización de PC y del (P ₁₂ -FI) / (P ₁₀ -FII): <i>La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo ¿Cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?</i>	Propuesta de una prueba escrita consistente en la resolución de los problemas cerrados PC propuestos por el profesor del grupo control y además la resolución de la última situación problemática abierta planteada (P ₁₂ -FI)/(P ₁₀ -FII).	EXAM	EXAM
				(2 Sesiones contiguas)	

CUADRO 3.10. RESUMEN DE LA SECUENCIA TEMPORAL DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA UNIDAD EN CADA FASE EXPERIMENTAL. (*Trabajo a desarrollar en casa por el alumno).

3.5. COORDINACIÓN CON EL PROFESORADO DEL GCON

La coordinación con el profesorado del GCON en ambas fases es continua durante todo el proceso de desarrollo experimental. Inicialmente se consensuan contenidos mínimos de la unidad que cada grupo va a seguir y la temporalización aproximada (durante el desarrollo se comenta el avance de ambos grupos y cómo van los tiempos), y al finalizar el proceso se consensua la prueba final propuesta por el profesor del GCON. Además, se distribuyen los instrumentos de recogida de datos de una forma simultánea. Por otro lado, la colaboración de estos profesores resulta fundamental pues entregan y recogen los cuestionarios de evaluación y, recopilan de datos de los alumnos para describir correctamente la muestra.

La correlación de las actuaciones no es posible por la diferencia de planteamientos metodológicos seguidos y de materiales utilizados, la Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa” para los GEXP y los libros de texto de SM (Agustench, Castillo, Del Barrio & Romo, 2000) para el GCON de la fase I y apuntes personales y libro McGraw-Hill (Galindo, Savirón, Moreno, Pastor & Benedi, 2000) para los de la fase II. En los cuadros 3.11 y 3.12 se resumen las sesiones de los GEXP y GCON de cada fase para poder corroborar la temporalización similar de ambos grupos.

Se comprueba que el mayor tiempo que se invierte en la resolución de situaciones problemáticas abiertas se compensa con la repetición, por parte de los alumnos control, de los problemas cerrados propuestos que tratan un mismo aspecto a diferentes niveles o enfoques (masa, cantidad de sustancia, volumen, etc.) o con diferentes sustancias o cantidades. Así, en general, diferentes planteamientos en varios problemas cerrados aparecen, de forma similar, en un solo problema abierto. Por ejemplo, si en una determinada situación problemática se requiere obtener una cantidad de gas, en cada propuesta individual y grupal los planteamientos son diferentes: unos alumnos se centran en la relación molar, otros en aspectos relacionados con la masa, otros con el volumen del gas obtenido, otros añaden la variable de la pureza de los reactivos, otros el rendimiento de la reacción, etc. Un único problema abierto puede abordar, en la puesta en común, los contenidos de varios cerrados que se trabajan en el grupo control.

A continuación se muestra la correlación de las sesiones trabajadas en los GEXP y GCON de cada fase (cuadros 3.11 y 3.12), entre paréntesis aparece la cantidad de problemas cerrados planteados en el grupo control y, en su caso, la localización de sus enunciados en el libro de texto.

ACTUACIONES FASE I		
Sesión	GEXP	GCON
S1	Presentación U. D: “Reacciones químicas y Biomasa” y metodología. Formación de grupos. Actividades iniciales.	Presentación del tema. Vídeo “ Con ojo químico” de SM. Introducción y actividades iniciales.
S2	Energías renovables. Vídeo “Las otras energías”.	Cambios químicos. Ruptura y formación de enlaces.
S3	Biomasa y tipos. P1. Energía de enlace.	La ecuación química. Aspectos microscópicos. Ajuste de ecuaciones.
S4	Puesta en común P1. Entalpía. Balance.	Ejercicios ajuste (7). Conservación
S5	Origen de la biomasa. P2.	Interpretación de una ecuación química. Cálculos estequiométricos.
S6	Puesta en común P2. Conservación. P3	Hoja de ejercicios (18).
S7	Puesta en común P3. Representaciones microscópicas. Conservación.	Corrección de ejercicios de cálculos estequiométricos.
S8	Puesta en común P4. Reacciones químicas. Estequiometría. Conservación.	Corrección del resto de ejercicios de cálculos estequiométricos.
S9	Continuación P4. Reactivo limitante. Rendimiento. Riqueza.	Corrección del resto de ejercicios de cálculos estequiométricos.
S10	Puesta en común del P5. Cálculos ecuaciones termoquímicas.	Reactivo limitante . ejemplificación
S11	Uso de la Biomasa. Combustión.	Ejercicios con reactivo limitante (3).
S12	Puesta en común y práctica laboratorio P6. Conservación de la masa.	Corrección del resto de ejercicios de cálculos estequiométricos.
S13	Puesta en común y práctica P7. Aspectos cinéticos de las reacciones.	Importancia de las reacciones químicas. Nuevos materiales Tipos de reacciones. La combustión.
S14	Puesta en común P8. Procesos físicos y químicos.	Ejercicios.
S15	Procesos de la biomasa. Combustión P9.	Energía de las reacciones químicas.
S16	Puesta en común P9. Cálculos estequiométricos.	Energía química. Entalpía de reacción Ejemplos de entalpía de enlace, etc.
S17	Puesta en común P10. Cálculos ecuaciones termoquímicas.	Explicación de gráficas de energía en reacciones endotérmicas y exotérmicas.
S18	Procesos bioquímicos. Biogás. P11	Cálculos ecuaciones termoquímicas.
S19	Puesta en común P11. Cálculos rendimiento.	Electrolisis y aplicaciones. Pilas. Energía solar.
S20	Conservación y degradación de la energía. Video cogeneración.	Repaso para examen: Ejercicios de cálculos estequiométricos (4).
S21	Reflexiones finales. Ciclo CO ₂ . Ventajas e inconvenientes de la Biomasa.	Repaso para examen: Ejercicios de cálculos estequiométricos (3).
S22	EVALUACIÓN PC+ P12.	EVALUACIÓN PC + Cuestiones teóricas.

CUADRO 3.11. COMPARACIÓN DE LA TEMPORALIZACIÓN DEL GRUPO EXPERIMENTAL Y CONTROL PARA LA FASE I.

ACTUACIONES FASE II		
Sesiones	GEXP	GCON*
S1	Presentación U. D “Reacciones químicas y Biomasa” y metodología. Formación de grupos. Actividades iniciales.	Presentación. Cambios materiales y energéticos en las reacciones. Visualización de ejemplos.
S2s	Energías renovables. Vídeo “Las otras energías”.	Cambios químicos. Reacciones químicas.
S3	Biomasa y tipos. P1. Energía de enlace.	Ecuaciones químicas. Ajuste de ecuaciones.
S4	Puesta en común P1. Entalpía. Balance. Ecuaciones termoquímicas.	Ejercicios de ajuste (8, hoja profesor).
S5	Origen de la biomasa. Reacción de fotosíntesis.	Tipos de reacciones.
S6	Representación reacciones. P2.	Combustión.
S7	Puesta en común P2. Conservación masa y energía. Reacciones químicas. Estequiometría.	Aspectos cualitativos y cuantitativos de las ecuaciones químicas. Estequiometría.
S8	Continuación puesta en común P2. Comienzo trabajo P3.	Cálculos estequiométricos. Ejemplificaciones.
S9	Puesta en común P3 Cálculos ecuaciones termoquímicas.	Ejercicios de cálculos estequiométricos (4).
S10	Uso de la Biomasa. Combustión. P4	Ejercicios de cálculos estequiométricos (4)
S11	Puesta en común y práctica laboratorio P4. Conservación de la masa. P5.	Reactivo limitante. Ejercicios(4) p.289.
S12	Puesta en común P5. Procesos físicos y químicos.	Continuación ejercicios (6) pp.289- 290.
S13	Procesos de la biomasa. Combustión P6	Experimento laboratorio ley de Lavoisier (p. 293).
S14	Puesta en común P6. Cálculos estequiométricos	Aspectos energéticos de las reacciones . Conceptos termodinámicos. Entalpía.
S15	Puesta en común P7. Cálculos ecuaciones termoquímicas	Teoría de las colisiones y del complejo activado. Energía de activación.
S16	Puesta en común P8. Combustión. Poder calorífico.	Ejercicios ecuaciones termoquímicas, energía de enlace, etc.
S17	Procesos bioquímicos. Biogás. P9	Energía y combustibles.
S18	Puesta en común P9. Cálculos rendimiento	Lectura del libro sobre la lluvia ácida (p.304).
S19	Continuación puesta en común P9. Cálculos ecuaciones termoquímicas Conservación y degradación de la energía. Video cogeneración	Entrega corrección práctica de laboratorio. Repaso ejercicios para examen (4)
S20	Reflexiones finales. Ventajas e inconvenientes Biomasa. Ciclo CO ₂ .	Repaso ejercicios y dudas para examen.
S21	EVALUACIÓN PC+ P10.	EVALUACIÓN PC + Cuestiones teóricas

CUADRO 3.12. COMPARACIÓN DE LA TEMPORALIZACIÓN DEL GRUPO EXPERIMENTAL Y CONTROL PARA LA FASE II. * Referencia a páginas del libro de texto (Galindo et al., 2000)

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se estudian los datos recogidos y se analizan en base a las hipótesis planteadas. Se comienza por asegurar que la muestra elegida es adecuada para el presente estudio, es decir, que sea homogénea desde el punto de vista estadístico, requisito necesario para investigar los distintos aspectos del trabajo, y a continuación se analizan las hipótesis de trabajo H1 a H4 y sus correspondientes subhipótesis.

Dada la gran cantidad de datos que se van a manejar, y en aras de una máxima claridad en la exposición de los resultados obtenidos, se muestran en la misma tabla los datos recogidos en ambas fases de la investigación, siempre que es posible. Se puede así comparar en paralelo los resultados obtenidos al contrastar una misma hipótesis en los diferentes momentos de la investigación. El estudio para ambas fases es, en general, idéntico por lo que la selección de estadísticos y el análisis de datos van a seguir una única línea de actuación en ambos casos.

Además del correspondiente análisis cuantitativo, se realiza para cada estudio un análisis cualitativo descriptivo para enriquecer los resultados de la investigación. Para identificar el alumno que realiza la aportación se indica, al final de ésta, el grupo al que pertenece (GEXP o GCON), número de identificación (A-nº), la fase experimental a que pertenece (FI/FII) y si es el test inicial o final (INI/FIN). Por ejemplo: (GEXP-A21-FII-INI). Para que el estudio sea lo más completo posible, en los distintos apartados se seleccionarán textos de diferentes alumnos para ejemplificar las respuestas, y abarcar así el mayor número de estudiantes de la muestra.

A modo de guía, para adentrarse en este capítulo, se muestran en el cuadro 4.1 detalles del trabajo que se va a desarrollar, como son: la hipótesis que se pretende investigar, los aspectos que se estudian, los grupos que intervienen, los instrumentos seleccionados para ello, los momentos de recogida de datos y los métodos de análisis estadísticos utilizados.

	HIPÓTESIS	ASPECTOS QUE ESTUDIAN	GRUPOS QUE INTERVIENEN	RECOGIDA DE DATOS		ESTADÍSTICO UTILIZADO
				INSTRUMENTO	MOMENTO RESPECTO A LA UNIDAD DIDÁCTICA	
HOMOGENEIDAD	H0.1	Resolución inicial de problemas abiertos	GEXP y GCON	Problema abierto inicial: P0	Previo	U de Mann-Whitney
	H0.2	Conceptos iniciales sobre reacciones químicas	GEXP y GCON	TQ _{INI}	Previo	U de Mann-Whitney
	H0.3	Conceptos iniciales sobre medioambiente	GEXP y GCON	TMA	Previo	U de Mann-Whitney
	H0.4	Actitudes iniciales hacia medioambiente	GEXP y GCON	TACT1 TACT2	Previo	U de Mann-Whitney
CAMBIOS PROCEDIMENTALES	H1	Evolución en MRPI	GEXP	PROBLEMAS ABIERTOS (plantilla de variables)	Durante el desarrollo	ANOVA. Test de la F y test de medias de rangos múltiples de Tukey.
	H2	Resolución problemas cerrados	GEXP y GCON	PC	Posterior	U de Mann-Whitney
CAMBIOS CONCEPTUALES	H3.1	Conceptos de reacciones químicas	GEXP	TQ _{INI} y TQ _{FIN}	Posterior	Wilconxon
	H3.2	Conceptos de reacciones químicas	GEXP-GCON	TQ _{INI} y TQ _{FIN}	Posterior	U de Mann-Whitney
	H3.3	Conceptos de medioambiente	GEXP	TMA	Posterior	Wilconxon
	H3.4	Conceptos de medioambiente	GEXP y GCON	TMA	Posterior	U de Mann-Whitney
	H3.5	Persistencia conceptos de reacciones químicas	GEXP	TQ _{FIN}	Tras varios meses de concluirla	Wilconxon
CAMBIOS ACTITUDINALES	H4.1	Actitudes hacia medioambiente	GEXP	TACT1 TACT2 TACT3	Posterior	Wilconxon
	H4.2	Actitudes hacia medioambiente	GEXP y GCON	TACT1 TACT2 TACT3	Posterior	U de Mann-Whitney
	H5	Valoración de la MRPI	GEXP	TMRPI	Posterior	Descriptivos

CUADRO 4.1. RELACIÓN ENTRE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS, LOS INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE DATOS Y LOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS EN SU ESTUDIO.

4.1. HOMOGENEIDAD DE LOS GRUPOS EXPERIMENTAL Y CONTROL

El requisito de partida del estudio estadístico es la homogeneidad de los grupos experimental y control, para así poder llegar a conclusiones válidas sobre la diferencia en el aprendizaje de los diferentes aspectos estudiados. A priori cabe suponer la homogeneidad en base a la descripción de las muestras realizada en el apartado 2.3.

Para cada aspecto a estudiar se analizan para los grupos experimental y control los resultados obtenidos para las pruebas iniciales descritas en el apartado 2.8. Para ello se utiliza el estadístico U de Mann-Whitney que compara el rango medio de dos muestras de datos combinadas (ver apartado 2.10). Se considera la homogeneidad de los grupos, en cuanto a sus respuestas, como la hipótesis nula del estadístico, frente a la hipótesis alternativa de no igualdad. A continuación se muestran los resultados obtenidos para las hipótesis previas H0.1 a H0.4 en ambas fases de la investigación.

4.1.1. ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD DE LOS GEXP Y GCON EN RELACIÓN A LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS

Para comprobar la primera subhipótesis H0.1, relativa a la homogeneidad de los grupos en cuanto a los procedimientos utilizados para resolver problemas abiertos se analiza el problema inicial P₀ "¿Qué volumen tiene un sólido?" considerado el punto de partida en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para poder evaluar las respuestas dadas en las diferentes variables se realiza una resolución teórica del problema P₀ (ver anexo III) y se asigna una puntuación a cada una según cuatro niveles de resolución, de 0 a 3. En el cuadro 4.2 se muestra dicha concreción y a continuación, en la tabla 4.1, se recogen los resultados obtenidos para ambas fases.

Como se desprende del análisis estadístico, los datos que aparecen en negrita en la tabla 4.1 apoyan la hipótesis de homogeneidad. Las variables que no son contestadas en ninguno de los grupos son lógicamente idénticas al 100% y los grupos son homogéneos, aunque en ellas no aparece valoración numérica del estadístico.

VARIABLES	NIVEL	CONCRECION
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	<i>El análisis es prácticamente nulo, inconexo o sin sentido en la situación que se estudia.</i>
	Nivel 1	<i>El análisis de la situación es poco profundo, estudiando tan sólo algunos de los aspectos bien la naturaleza del estado sólido o bien de la fórmula de la densidad.</i>
	Nivel 2	<i>Se analiza la situación para sólidos regulares e irregulares, pero de manera escasa.</i>
	Nivel 3	<i>Se analizan en profundidad las situaciones problemáticas posibles tanto para el caso de sólidos regulares (fórmulas,...) como irregulares (laboratorio). Analizan las relaciones $m-V-\rho$. Además se proponen restricciones, como no utilizar sólidos solubles o que reaccionen en agua, para calcular el volumen de un sólido por desplazamiento en dicho líquido.</i>
VM2 Emisión de hipótesis	Nivel 0	<i>No se plantea ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.</i>
	Nivel 1	<i>Se plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar (ej. depende del agua desplazada, depende del tamaño del objeto).</i>
	Nivel 2	<i>Se plantean hipótesis relacionadas con las dimensiones en el caso de sólidos regulares o con volumen de líquido desplazado en el caso de irregulares, aunque no se enuncien correctamente.</i>
	Nivel 3	<i>Se plantea una hipótesis clara de trabajo y se expresa correctamente en términos de dimensiones (regulares), volumen desalojado (irregulares), o relaciones $m-V-\rho$.</i>
VM3 Elaboración de estrategia resolución	Nivel 0	<i>No se plantea ninguna estrategia o no es coherente.</i>
	Nivel 1	<i>Se proponen estrategias que no concuerdan con la hipótesis.</i>
	Nivel 2	<i>Se elabora una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.</i>
	Nivel 3	<i>Se explica claramente y de forma extensa la estrategia de trabajo. También se plantean las variables que necesitan conocer de partida (como el volumen de agua)</i>
VM4 Resolución del problema	Nivel 0	<i>No se realiza ninguna resolución.</i>
	Nivel 1	<i>Se indican los pasos a seguir en la resolución, pero no se acompañan de ningún desarrollo.</i>
	Nivel 2	<i>Se propone una resolución, pero alguno de los pasos faltan o se cierra ya el problema sustituyendo algunos valores.</i>
	Nivel 3	<i>Se realiza una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.</i>
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	<i>No se realiza ningún análisis.</i>
	Nivel 1	<i>Se propone en el análisis un problema mal resuelto.</i>
	Nivel 2	<i>Se realiza un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis (ej. si se habla de moléculas o de moles).</i>
	Nivel 3	<i>Se realiza el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También se realizan conclusiones personales.</i>
VV Variable de verbalización	Nivel 0	<i>NULA o MÍNIMA: El nivel de explicitación y elaboración es nulo o mínimo. El análisis es una reproducción de conceptos teóricos sin ninguna elaboración propia. La resolución, si la hace, se limita a escribir fórmulas y sustituir datos numéricos.</i>
	Nivel 1	<i>ESCASA o INSUFICIENTE: En al menos una o dos de las variables metodológicas se intenta elaborar explicaciones y desarrollos personalizados pero lo logra en un nivel mínimo o no se acomoda claramente a la situación planteada.</i>
	Nivel 2	<i>SATISFACTORIA: En tres o cuatro de las variables metodológicas se realiza un desarrollo claro y una explicación suficiente de la situación planteada.</i>
	Nivel 3	<i>EXTENSA: En al menos cuatro variables se alcanza el nivel máximo de elaboración, con explicaciones completas y claras, desarrollos personales originales y adecuados a la situación planteada.</i>

CUADRO 4.2. NIVELES DE CONCRECIÓN DE LAS RESPUESTAS PARA EL PROBLEMA ABIERTO P_0 .

VARIABLES		FASE I					FASE II				
		GEXP (28 alumnos)		GCON (23 alumnos)		U Mann-Whitney	GEXP (30 alumnos)		GCON (39 alumnos)		U Mann-Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
VM1 <i>Análisis cualitativo del problema</i>	Nivel 0	14	50,0	10	43,5	350,5***	7	23,3	11	28,2	568,0***
	Nivel 1	13	46,4	11	47,8		23	76,7	27	69,2	
	Nivel 2	1	3,6	2	8,7		0	0,0	1	2,6	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
VM2 <i>Emisión de hipótesis</i>	Nivel 0	28	100,0	22	95,7	325,0***	30	100,0	39	100,0	***
	Nivel 1	0	0,0	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 2	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
VM3 <i>Elaboración de estrategias de resolución</i>	Nivel 0	25	89,3	20	87,0	331,0***	29	96,7	36	92,3	580,5***
	Nivel 1	3	10,7	2	8,7		1	3,3	3	7,7	
	Nivel 2	0	0,0	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
VM4 <i>Resolución del problema</i>	Nivel 0	28	100,0	23	100,0	***	30	100,0	39	100,0	***
	Nivel 1	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 2	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
VM5 <i>Análisis de los resultados</i>	Nivel 0	28	100,0	23	100,0	***	30	100,0	39	100,0	***
	Nivel 1	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 2	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
VV <i>Variable de verbalización</i>	Nivel 0	25	89,3	19	82,6	343,5***	29	96,7	37	94,9	591,5***
	Nivel 1	3	10,7	4	17,4		1	3,3	2	5,1	
	Nivel 2	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	Nivel 3	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	

TABLA 4.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA INICIAL DE PROCEDIMIENTOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS. Los valores en negrita del estadístico apoyan la hipótesis de homogeneidad (**p>0,1).

Por tanto se puede considerar que:

Los alumnos de los dos grupos investigados, GEXP y GCON de ambas fases de experimentación, se consideran estadísticamente homogéneos en relación a la resolución de situaciones problemáticas abiertas.

4.1.2. ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD DE LOS GEXP Y GCON EN RELACIÓN A LOS CONOCIMIENTOS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS

En este apartado se comprueba la subhipótesis previa H0.2, referida a la homogeneidad de los grupos en relación a contenidos conceptuales de reacciones químicas. Para ello, se procede de igual modo que en el caso anterior, analizando los datos obtenidos de la prueba inicial, TQ_{INI} (apartado 2.8.2.1 p. 90; cuadros 2.12 y 2.14) con el estadístico U de Mann-Whitney. Los resultados se muestran en la tabla 4.2. donde las dos fases de experimentación aparecen en paralelo.

Los ítems se agrupan en función de las concepciones alternativas sobre los conceptos químicos que investigan. Así, se observan cuestiones sobre diferenciación entre cambio químico y físico, conservación de la masa en las reacciones químicas, representaciones microscópicas (donde a su vez se estudian aspectos estequiométricos), las relaciones estequiométricas propiamente dichas (incluyendo el concepto de reactivo limitante y en exceso), las reacciones de combustión y, por último, dos bloques de aspectos relativos a energía (los asociados a una reacción química como energía de enlace y balance energético y, las características generales como conservación y degradación). Para facilitar el seguimiento de la información se acompañan de forma abreviada los enunciados y opciones de los ítems. Los espacios en blanco en la tabla se deben a la no correlación entre preguntas de una fase y otra. Cabe recordar que el momento de recogida de la información es simultánea en los grupos experimental y control de cada fase y previo al desarrollo del tema de reacciones químicas.

		TQ_{INI I}		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	TQ_{INI II}		GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		N°	%	N°	%	N°	%		N°	%	N°	%	N°	%	
CAMBIO FÍSICO Y QUÍMICO	1. ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?	a) Cambia de estado b) Se transforma en calor c) En otras sustancias d) Desaparece e) Otras o NS/NC	6 8 8 1 5	21,4 28,6 28,6 3,6 17,9	9 5 2 7 0	39,1 21,7 8,7 30,4 0,0		289,5***	1. <i>Ídem</i>	<i>Ídem</i>	8 6 6 2 8	26,7 20,0 20,0 6,7 26,7	14 14 7 1 3	35,9 35,9 17,9 2,6 7,7	672,0***
									2. Un alumno echa un líquido naranja en un tubo se calienta (cambia m, V, color) ¿ha habido cambio químico?	a) Si, explicación bien. b) Si, explicación regular c) Si, explicación mal d) No, proceso físico e) Otras o NS/NC	0 4 14 5 7	0,0 13,3 46,7 16,7 23,3	12 4 3 11 9	30,8 10,3 7,7 28,2 23,1	671,0***
CONSERVACIÓN DE LA MASA	3. Se calientan 6g de cinta de Mg hasta que se forma un polvo blanco. Se observa que la masa final es 10g. ¿Por qué la masa ha aumentado?	a) Oxígeno mezclado b) Mg se expande c) Imposible, m se conserva d) Mg reacciona con O₂ e) Mg gana calor f) Otras o NS/NC	2 0 15 7 1 3	7,1 0,0 53,6 25,0 3,6 10,7	1 1 18 3 0 0	4,3 4,3 78,3 13,0 0,0 0,0		327,0***	3. <i>Ídem</i>	<i>Ídem</i>	1 2 19 5 1 2	3,3 6,7 63,3 16,7 3,3 6,7	4 4 18 9 3 1	10,3 10,3 46,2 23,1 7,7 2,6	569,0***
									4 En un matraz cerrado colocamos un trozo de fósforo (masa matraz + contenido=205g) Se inflama por sol ¿Peso final ?o	a) Más de 205g b) 205g c) Menos de 205g d) No tengo información e) Otras o NS/NC	3 16 8 1 2	10,0 53,3 26,7 3,3 6,7	5 20 10 2 2	12,8 51,3 25,6 5,1 5,1	569,5***

TABLA 4.2 (1/4)

		TQ_{INI} I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	TQ_{INI} II		GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		N°	%	N°	%	N°	%		N°	%	N°	%	N°	%	
REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	6. Representa una sustancia en los tres estados	1. Bien 2. Mal o NS/NC	22 6	78,6 21,4	15 8	65,2 34,8		279,0***	5. Identificación de diagramas de elemento, compuesto y mezcla	a) Identifican los 4 b) Identifican 3 c) Identifican 2. d) Identifican 1 e) Mal todos o no contestan	6 6 8 8 2	20,0 20,0 26,7 26,7 6,7	15 3 8 8 5	38,5 7,7 20,5 20,5 12,8	633,0***
	7. Dibuja 3 moléculas de O ₂	a) Bien b) Mal o NS/NC	23 5	82,1 17,9	14 9	60,9 39,1		253,5***	6.Representación del agua en los tres estados	a) Bien b) Mal por situación, enlaces,.. c) Mal o NS/NC	6 19 5	20,0 63,3 16,7	14 20 5	35,9 51,3 12,8	680,5***
	8. Representa: Cl ₂ (g)+H ₂ (g)→2HCl(g)	a) Bien b) Mal o NS/NC	8 20	28,6 71,4	7 16	30,4 69,6		328,0***	7.Representa: Cl ₂ (g) + H ₂ (g) → 2 ClH(g)	a) Bien b) Mal o NS/NC	9 21	30,0 70,0	6 33	15,4 84,6	449,5***
									8. Identificar la gráfica correspondiente con la reacción de formación de agua:	1. Mezcla de átomos 2. Correcta 3. Mezcla de compuestos 4. Otra sustancia no agua	1 26 2 1	3,3 86,7 6,7 3,3	3 30 3 3	7,7 76,9 7,7 7,7	525,0***
	11.Observa los gráficos y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.	a) X+2Y→ Y ₂ X b) X₂ +Y→ XY₂ y b) ajustada c) 2X +1/2Y ₂ →YX ₂ d) X+Y→ YX e) 2X+Y ₂ → Y ₂ X + X f) Otras o NS/NC	0 15 0 0 3 10	0,0 53,6 0,0 0,0 10,7 35,7	5 8 1 1 0 8	21,7 34,8 4,3 4,3 0,0 34,8		255,0***	9. Identificar la reacción entre X e Y	a) 3 X + 8 Y→ X ₃ Y ₈ b) 3 X + 6 Y→ X ₃ Y ₆ c) X + 2 Y → XY₂ d) 3 X + 8 Y→ 3XY ₂ + 2Y e) X + 4 Y → XY ₂	4 2 3 20 1	13,3 6,7 10,0 66,7 3,3	6 4 8 21 0	15,4 10,3 20,5 53,8 0,0	670***

TABLA 4.2 (2/4)

			TQ _{INI} I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	TQ _{INI} II			GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
			Nº	%	Nº	%				Nº	%	Nº	%				
RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS . REACTIVO LIMITANTE.	2. ¿Se puede formar N ₂ O ₅ con cantidades iguales de N ₂ y O ₂ ?	a) No, necesito más O b) Sí, si condiciones c) No, N ₂ O ₂ o NO d) Sí, si no explotan e) Otras o NS/NC	10 8 7 0 3	35,7 28,6 25,0 0,0 10,7	7 8 7 0 1	30,4 34,8 30,4 0,0 4,3	365,0***		10. Se calientan 2g de Zn y 1g de S no queda nada de ambos tras formar sulfuro de cinc. ¿Y con 2g de Zn y 2g de S?	a) Sulfuro con dos veces S b) Máximo el doble de sulfuro c) Mismo sulfuro, sobra S d) Mismo sulfuro sobra Zn e) Otras o NS/NC	5 4 15 2 4	16,7 13,3 50,0 6,7 13,3	9 0 23 3 4	23,1 0,0 59,0 7,7 10,3	626,0***		
	4. Cuántos moles NH ₃ a partir de 12 mol de H ₂ según: N ₂ + 3H ₂ →2NH ₃	a) Bien b) Mal (otras) o NS/NC	8 20	28,6 71,4	10 13	43,5 56.5	410,0***										
	5. La formación de metano C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si 100g de C reaccionan con exceso de H ₂ ¿g de CH ₄ ?	a) 100g ,la relación 1:1 b) Más de 100g, el metano... c) Menos de 100g , es gas d) La suma inicial de C + H ₂ e) Otras o NS/NC	1 6 3 15 3	3,6 21,4 10,7 53,6 10,7	8 3 2 10 0	34,8 13,0 8,7 43,5 0,0	391,0***		11. La formación de metano: C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si tengo de 100g de C reaccionan con un exceso de H ₂ ¿Cuándo concluye la reacción?	Cuando... a) Obtengo 100g de metano b) Se gastan 100g C y 200 H ₂ c) Se gasta el carbono d) Ambos reactivos se agotan e) Otras o NS/NC	2 2 10 6 10	6,7 6,7 33,3 20,0 33,3	3 4 14 9 9	7,7 10,3 35,9 23,1 23,1	633,0***		
COMBUSTIÓN	9. Cuando algún combustible arde se produce:	a) Siempre agua y CO ₂ b) Siempre agua c) Siempre CO ₂ d) Distintas sustancias e) Otras o NS/NC	7 0 10 7 4	25,0 0,0 35,7 25,0 14,3	6 0 9 6 2	26,1 0,0 39,1 26,1 8,70	314,5***		12. ¿Puedes ver H ₂ O cuando se quema lo siguiente? ¿Puedes ver CO ₂ si se quema...?	Identifican correctamente.... a) La mayoría (12-10) de 12 b) Algunos (9-7) de 12 c) Pocos (6-4) de 12 d) Casi ninguno (3-0) de 12	2 6 8 14	6,7 20,0 26,7 46,7	0 4 14 21	0,0 10,3 35,9 53,8	499,0***		

TABLA 4.2 (3/4)

			TQ _{INI} I				GEXP (28 al.) Nº %		GCON (23 al.) Nº %		U Mann- Whitney	TQ _{INI} II				GEXP (30 al.) Nº %		GCON (39al.) Nº %		U Mann- Whitney
ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO	10. El oxígeno que interviene en una combustión ¿Posee energía química?	a) Si, elemento químico b) No, inorgánica c) Si, tiene enlaces d) No, no es combustible e) Otras o NS/NC	9 1 6 6 6	32,1 3,6 21,4 21,4 21,4	10 2 5 4 2	43,5 8,7 21,7 17,4 8,7	367,0***	14. Al quemar carbón la energía desprendida ¿de dónde proviene?.	a) De llama inicial(encender) b) Almacenada en el carbón c) De las sustancias finales d) Rompe+forma enlaces e) Otras o NS/NC	3 9 1 12 5	10,0 30,0 3,3 40,0 16,7	7 8 1 14 9	17,9 20,5 2,6 35,9 23,1	520,5***						
								13. Qué tipo de reacción es la combustión?	a) Endotérmica, consume E b) Exotérmica, es espontánea c) Endotérmica, E inicial d) Exotérmica, desprende E e) Otra o NS/NC	1 0 8 13 8	3,3 0,0 26,7 43,3 26,7	6 1 10 16 6	15,4 2,6 25,6 41,0 15,4		598,0***					
	ENERGÍA. CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA	12. Escribe tres palabras y frases relacionadas con la energía	a) Tres b) Dos c) Una d) Cero	8 8 3 9	28,6 28,6 10,7 32,1	9 6 3 5	39,1 26,1 13,0 21,7	366,0***	15. <i>Ídem</i>	a) Tres b) Dos c) Una d) Mal o NS/NC	14 8 4 4	46,7 26,7 13,3 13,3	14 3 6 13	35,9 7,7 15,4 33,3	410*					
13. ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?		a) No, se degrada. b) Sí, no si pérdidas calor. c) Unas si, otras no d) Sí, cualquier situación e) No, se transforma. f) No, hay consumo de E g) Otras o NS/NC	2 5 6 2 3 4 6	7,1 17,9 21,4 7,1 10,7 14,3 21,4	6 4 2 1 8 2 0	26,1 17,4 8,7 4,3 34,8 8,7 0,0	381,0***			16. <i>Ídem</i>	a) No, realmente se degrada. b) Sí, no si desprende calor. c) No, solo las renovables d) Sí, en cualquier proceso e) No, porque se transforma. f) Otras o NS/NC	8 5 0 5 9 3	26,7 16,7 0,0 16,7 30,0 10,0	9 9 1 8 9 3		23,1 23,1 2,6 20,5 23,1 7,7	650,0***			
14. ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?		a) Se va perdiendo b) Pasa a E menos útil c) Pasa a E contaminante d) Pierde calidad , riqueza e) Otras o NS/NC	10 6 2 7 3	35,7 21,4 7,1 25,0 10,7	7 9 2 5 0	30,4 39,1 8,7 21,7 0,0		401,5***	17. <i>Ídem</i>		a) Se va perdiendo b) Obtienen E no deseables c) Obtienen E contaminantes d) Pierde riqueza e) Otras o NS/NC	13 6 0 5 6	43,3 20,0 0,0 16,7 20,0	18 3 1 10 7	46,2 7,7 2,6 25,6 17,9	561,0***				

TABLA 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN AMBAS FASES PARA LA PRUEBA INICIAL SOBRE CONCEPTOS RELACIONADOS CON RECCIONES QUÍMICAS Y SU ENERGÍA.

En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis de homogeneidad (***p>0,1, **p>0,05, * p>0,01).

Un primer análisis cuantitativo muestra que las respuestas del alumnado son homogéneas en todos los ítems, en ambas fases de la investigación, con una significatividad estadística del 99% en todas las respuestas excepto en una, la C5 de la fase II, que lo es del 90%, estando aún así en el nivel de confianza exigido para el estudio. Se trata de una cuestión abierta sobre energía, algo diferente a los demás ítems, lo que puede haber producido la dispersión en las respuestas del alumno.

A continuación se analizan cualitativamente los datos y explicaciones extraídas de las producciones de los estudiantes. Las ejemplificaciones en este apartado se centrarán en las aportaciones de los alumnos del grupo experimental, cuyas ideas hay que conocer en profundidad para analizar, más adelante, el posible cambio conceptual producido en ellos.

Bloque 1: Cambios físicos y químicos

En el primer bloque, referido a la identificación del cambio químico en una reacción de combustión, se aprecia una clara dispersión en las respuestas para ambos grupos (tabla 4.2). Junto con la respuesta correcta aparecen las recogidas en la bibliografía como concepciones alternativas, por ejemplo la confusión con un cambio de estado (Watson et al., 1997) o la transformación en calor, dando a éste entidad de sustancia (Hesse & C. W. Anderson, 1992). A continuación se analizan detenidamente las respuestas de los alumnos.

Entre un 21 y un 36% de los alumnos considera que la combustión del alcohol es un cambio de estado:

“Se evapora al producirse la combustión” (GEXP-A21-FII-INI).

“Al aumentar la temperatura las partículas empiezan a moverse más deprisa y a separarse una de otras quedando así un gas” (GEXP-A21-FI-INI).

Incluso lo llegan a caracterizar como un cambio físico por considerar que es una técnica de separación de mezclas, lo confunden con la destilación:

“Se evapora, por ejemplo, en la separación de agua y alcohol 1ª se evapora el alcohol y se queda el aguador lo que pienso que cambia de estado” (GEXP-A9-FI-INI).

Un 21-35% indica que se transforma en calor:

“Cuando quemamos alcohol la llama se extiende rápidamente produciendo calor, en vapor no se puede transformar totalmente porque no le da tiempo ya que la llama se consume en segundos” (GEXP-A1-FII-INI).

“El alcohol reacciona con una fuente de calor y se transforma en calor” (GEXP-A15-FI-INI).

Para algún alumno ocurren las dos cosas:

“Se evapora y se transforma en calor pues al prender desprende energía calorífica y parte se evapora por dicho calor” (GEXP-A27-FII-INI).

La idea de que la sustancia desaparece (Watson et al., 1997) es menos frecuente (entre un 2-30%) debido a las características cognitivas de los alumnos. Cuando se indaga esta cuestión en los ensayos previos a la investigación con alumnos de menor edad (14 años pertenecientes a grupos de 3º ESO) esta opción era mayoritaria junto con y “cambia de estado”. La aparición aún de esta opción indica lo persistente de esta concepción alternativa:

“Se empieza a quemar y cada vez queda menos y va desapareciendo poco a poco” (GEXP-A12-FII).

Tan sólo entre un 8 y un 28% contestan correctamente:

“En una combustión, la sustancia combustible se transforma en óxidos” (GEXP-A16-FI-INI).

Pero algunos de los que señalan el cambio químico correctamente no saben indicar por qué lo es o lo explican erróneamente, confundiéndolo con otros conceptos:

“Se transforma en otras sustancias porque no hay un elemento que se llame alcohol y que pueda separarse en otros más simples mediante métodos físicos o químicos” (GEXP-A28-FI-INI).

“Se transforma en otras sustancias pues se degrada en forma de calor y queda un residuo” (GEXP-A24-FII-INI).

En la Fase II se incluye una segunda cuestión, C2, que ahonda en las características que se pueden asociar a las reacciones químicas. Los resultados muestran que los alumnos no distinguen claramente el proceso pues aunque identifican correctamente que se trata de un cambio químico la explicación dada es errónea, justificando en muchos casos ésta como un proceso físico, un cambio de estado, tal y como sugería la bibliografía (Boujauode, 1991; Solsona, 2003):

“Si, por que se ha evaporado un componente del líquido naranja por eso pesa menos” (GEXP-A13-FII-INI).

Bloque 2: Conservación de la masa

Las respuestas a la C3 coinciden, mayoritariamente (46% a 78%), con la concepción alternativa de que la masa del sólido debe tener el mismo valor, lo que indica la falta de comprensión del principio de conservación de la masa (Pozo et al., 1991). En el enunciado de esta cuestión, se indica claramente un aumento de peso, resultado que para ellos es imposible. Se observa que los estudiantes no tienen en cuenta el tipo de sistema, en este caso abierto, y por lo tanto ignoran el aporte de oxígeno del aire. Además, entre estos alumnos que aseguran que de ninguna forma se puede aumentar la masa, algunos concluyen que solo podría disminuir en el caso de que se desprendiesen gases:

“Según la Ley de Lavoisier la masa se conserva y en todo caso perdería masa si la reacción no se realiza en un recipiente cerrado ya que los gases se perderían” (GEXP-A6-FI-INI).

“Al quemarlo no puede aumentar la masa, en todo caso disminuir” (GEXP-A4-FII-INI).

“El oxígeno del aire no le va a dar más masa, si no pesa, y por la teoría de conservación de la masa” (GEXP-A1-FII-INI).

En la fase II se incluye una segunda cuestión, C4, para corroborar que la dificultad se encontraba en el tipo de sistema. Efectivamente, en este caso ambos grupos responden mayoritariamente de una forma correcta al enfrentarse a un sistema cerrado. Aún así es muy numerosa en ambos grupos (aproximadamente el 25%) la opción de que pesará menos, aún en un sistema cerrado, lo que nos señala lo persistente de la concepción de que los gases no pesan (Andersson, 1986; Driver et al., 1985, Pozo et al., 1991):

“Un gas pesa menos que un sólido” (GEXP-A4-FII-INI).

“Pesa menos porque el humo del fósforo es menos denso que el fósforo en estado sólido y pesa menos” (GEXP-A19-FII-INI)

“Al convertirse en humo no pesa tanto por lo que su peso disminuye” (GEXP-A20-FII-INI).

Aunque es una opción minoritaria, algún estudiante señala que pesa menos al transformarse parte en calor:

“Pesa menos porque al quemarse el oxígeno éste se transforma en calor” (GEXP-A7-FII-INI).

Otros no entienden que en un sistema cerrado no se transfiere materia y son varias las respuestas en el sentido de una evaporación de la sustancia:

“Parte del fósforo se evapora al reaccionar con el calor” (GEXP-A5-FII-INI).

Tan solo alrededor de un 10% considera que la masa aumenta y las razones son muy diversas:

“Más, porque reacciona con el oxígeno y el agua y aumenta su masa” (GEXP-A14-FII-INI).

“Más porque ahora el humo que antes no existía pasa a formar parte de la masa” (GEXP-A2-FII-INI).

Entre los estudiantes que contestan bien (51-53%), indicando que se mantiene el mismo valor, la mayoría razonan adecuadamente la conservación de la masa en sistemas cerrados pero hay algunos que piensan que el valor es el mismo porque realmente no se da la reacción (lo que parece indicar que si lo considerasen como una reacción química el valor sería otro):

“El fósforo al estar mojado no se inflama y sigue habiendo lo mismo que al principio” (GEXP-A24-FII-INI).

Bloque 3: Representaciones macroscópicas y microscópicas

Respecto a este bloque, cuestiones C6, C7, C8 y C11 de la fase I y C5, C6, C7, C8 y C9 de la fase II, se observa como el alumnado contesta bien a cuestiones que por tradición académica ya han visto en cursos previos, como la representación de sustancias en los diferentes estados de agregación (C6 fase I).

Cuando se cambia el enunciado y se les propone lo mismo para una sustancia concreta como el agua (C6 fase II) ya no lo saben hacer, lo que muestra la dependencia con el conocimiento académico aprendido.

Entre las contestaciones se observa que en algunos casos los alumnos siguen representando la realidad macroscópica (Ben-Zvi, Eylon & Silverstein, 1987) y utilizan para ello símbolos de frío o calor o “+ y -” como muestra la figura 4.1.

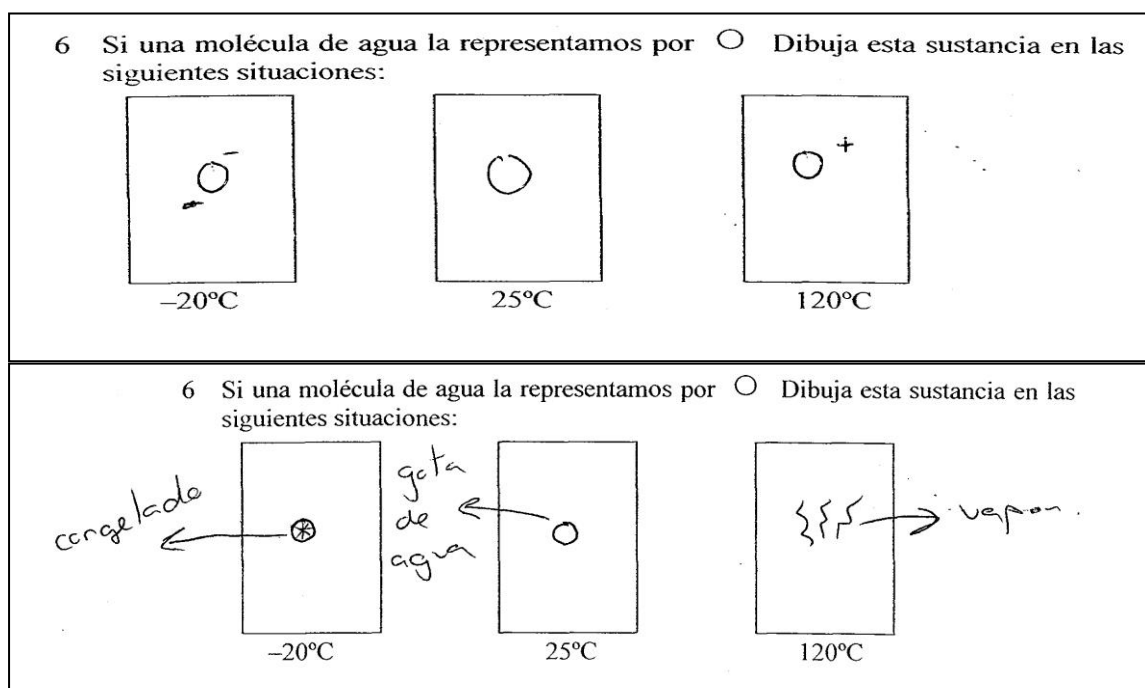


FIGURA 4.1. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DEL AGUA EN EL MOMENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS ESTUDIANTES GEXP-A16-FII y GEXP-A22-FII.

Algunos no dibujan la sustancia y la describen con letra como muestra la figura 4.2.

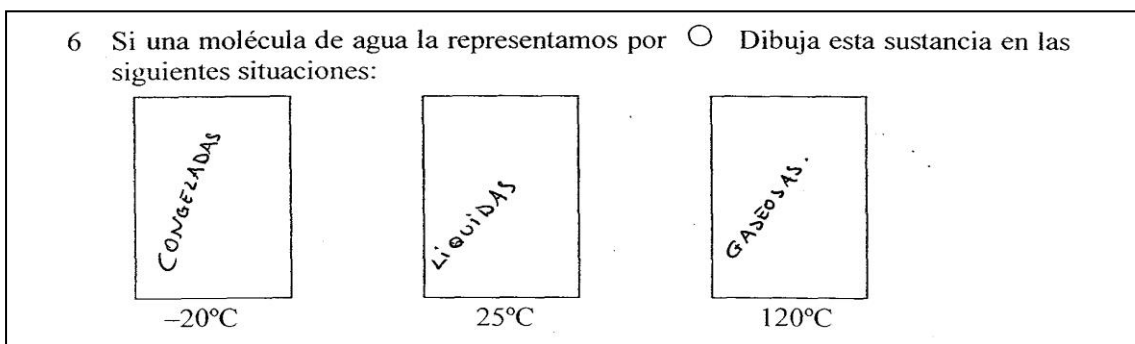


FIGURA 4.2. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DEL AGUA EN EL MOMENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIANTE GEXP-A18-FII.

Unos disminuyen el tamaño de las partículas para el estado gaseoso como si al evaporarse no se viesen tanto (A1-FII) y otros lo aumentan como si el calor dilatase los átomos, lo que parece mostrar una asignación de propiedades macroscópicas al nivel microscópico (A11-FII), figura 4.3.

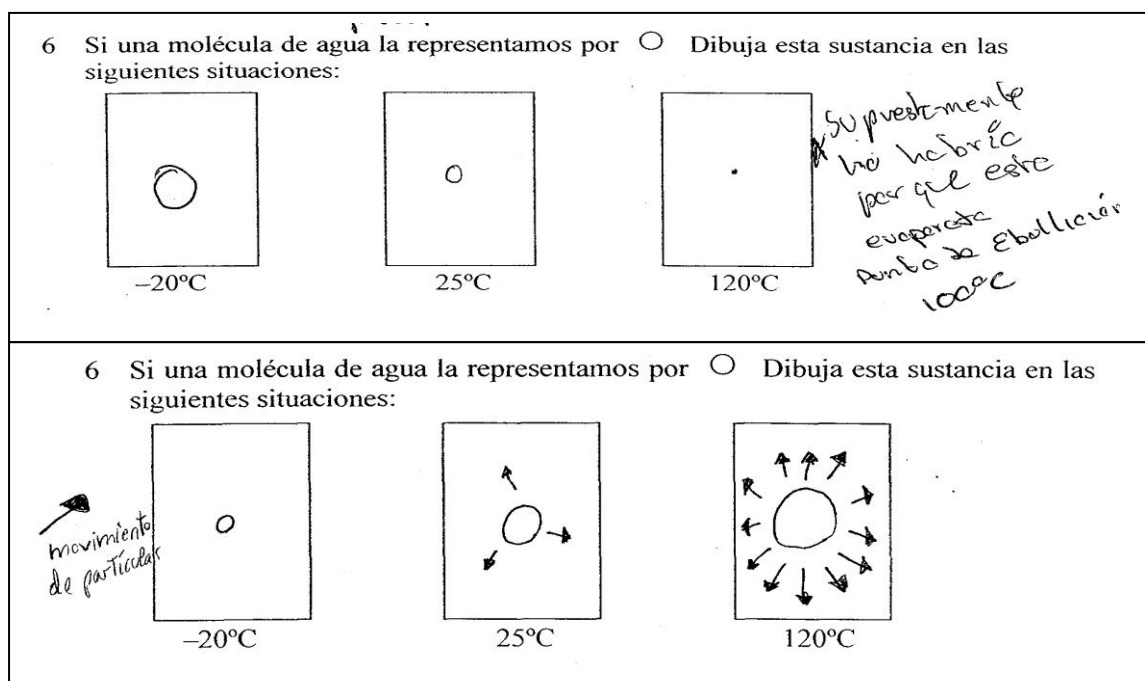


FIGURA 4.3. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DEL AGUA EN EL MOMENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS ESTUDIANTES GEXP-A1-FII y GEXP-A11-FII.

En este sentido algunos dibujan el gas en la parte superior (figura 4.4), como si quisieran mostrar que los gases son más ligeros, dejando el resto del recipiente vacío.

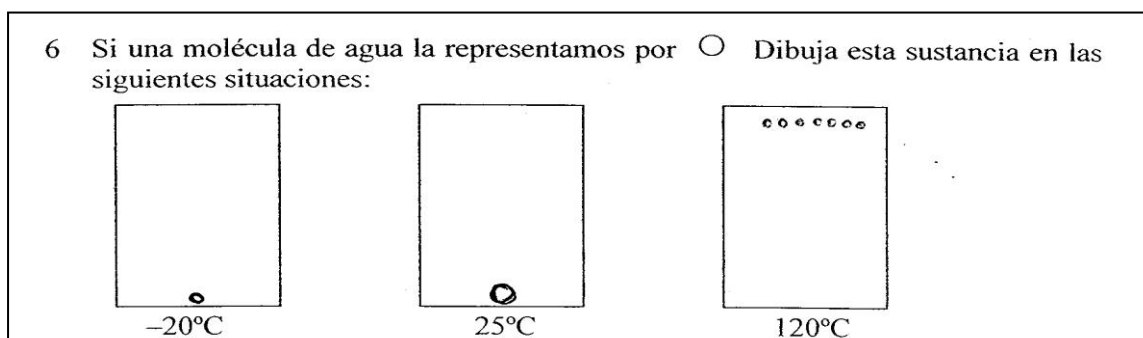


FIGURA 4.4. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DEL AGUA EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DE LOS ESTUDIANTES GEXP-A14-FII.

Cuando se solicita que representen la molécula de oxígeno O_2 , (C7-FI), es llamativo cómo siguen representando la molécula que reconocen, el H_2O . Incluso en algún caso dibujan dos átomos de diferente tamaño, aún siendo el mismo tipo de átomo, como se recoge en la figura 4.5, quizás reproduciendo ejemplos conocidos de clase sin pensar en su situación particular.

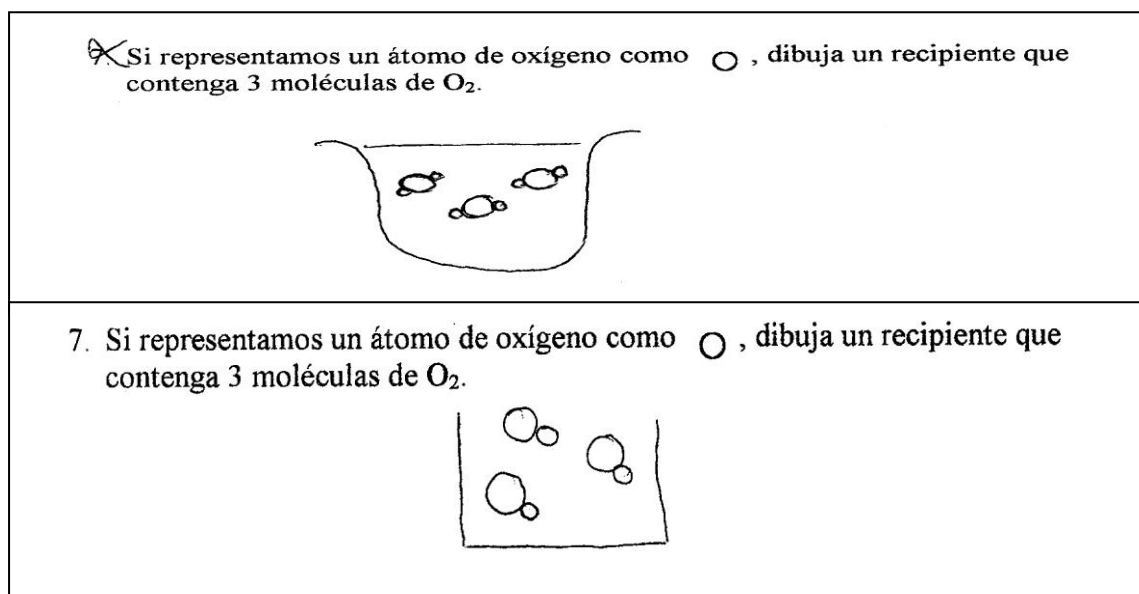


FIGURA 4.5. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DEL O_2 EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DE LOS ESTUDIANTES GEXP A6-FI y GEXP-A11-FII.

Lo mismo ocurre en la pregunta C8 de la fase II. En ella se pretende discernir, con una reacción sencilla como es la formación del agua, si distinguen una mezcla de átomos o moléculas de una reacción química. Lo sorprendente es que, aun respondiendo en general bien, la mayoría concluye en su explicación diciendo que su elección responde a que reconocen esa sustancia. El agua se ha representado en clase, pues se utiliza como ejemplo habitual. Efectivamente, como se verá más adelante si se les propone la misma cuestión en la fase final con otra sustancia, ya no la reconocen:

“La 2 porque es la que representa la molécula de H_2O ” (GEXP-A3-FII-INI).

“La 2 porque la molécula de agua tiene esa forma” (GEXP-A4-FII-INI).

En cuanto a las preguntas sobre representaciones de una reacción química como es la formación de cloruro de hidrógeno (C8 en fase I y C7 en fase II), entre un 70% y un 85% de los alumnos no lo realizan adecuadamente. En general, los fallos se dan al representar las sustancias y al interpretar el significado de los coeficientes estequiométricos y de los subíndices de las fórmulas. Llama la atención que muchos de los que han representado bien el O_2 , o el agua en las preguntas previas, no sepan dibujar moléculas tan semejantes como el H_2 o el Cl_2 (ejemplo de la figura 4.6). Otros si reconocen éstas pero no el HCl . Podría deberse a que el oxígeno o el agua son sustancias utilizadas habitualmente en ejemplos de las explicaciones en clase y, por tanto, los alumnos podrían reconocerlos aunque no sepan representar especies químicas. Esta información, parece

suscribir la idea de que si no se comprende adecuadamente el concepto de sustancia es difícil reconocer una ecuación química (Johnson, 2000).

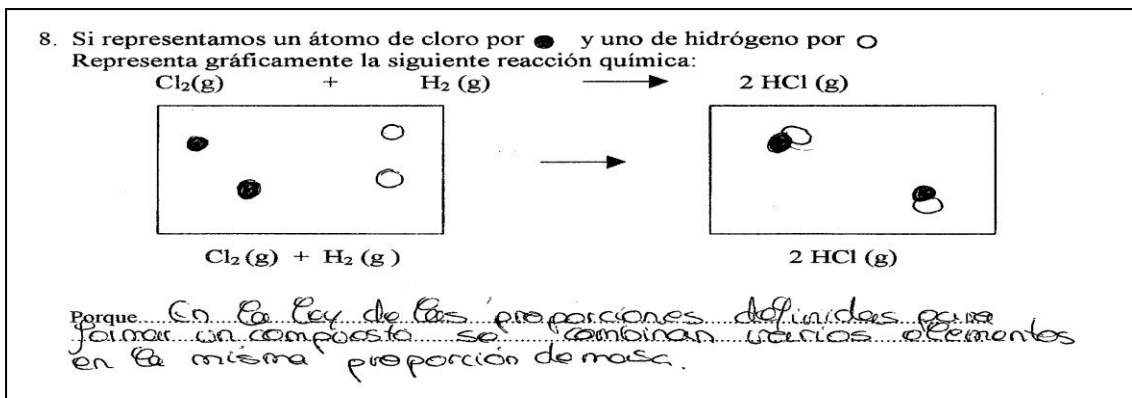


FIGURA 4.6. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE LA REACCIÓN DE FORMACIÓN DE HCl EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DEL ESTUDIANTE GEXP-A15-FI.

Otro de los problemas es que no interpretan adecuadamente los coeficientes de la ecuación y representan la sustancia como un bloque unido de todas las partículas presentes. Por ejemplo 2HCl lo dibujan habitualmente como si fuese Cl_2H_2 en bloque (figura 4.7.), concibiendo la reacción como una adición de átomos en lugar de una recombinación (Ben-Zvi et al., 1987).

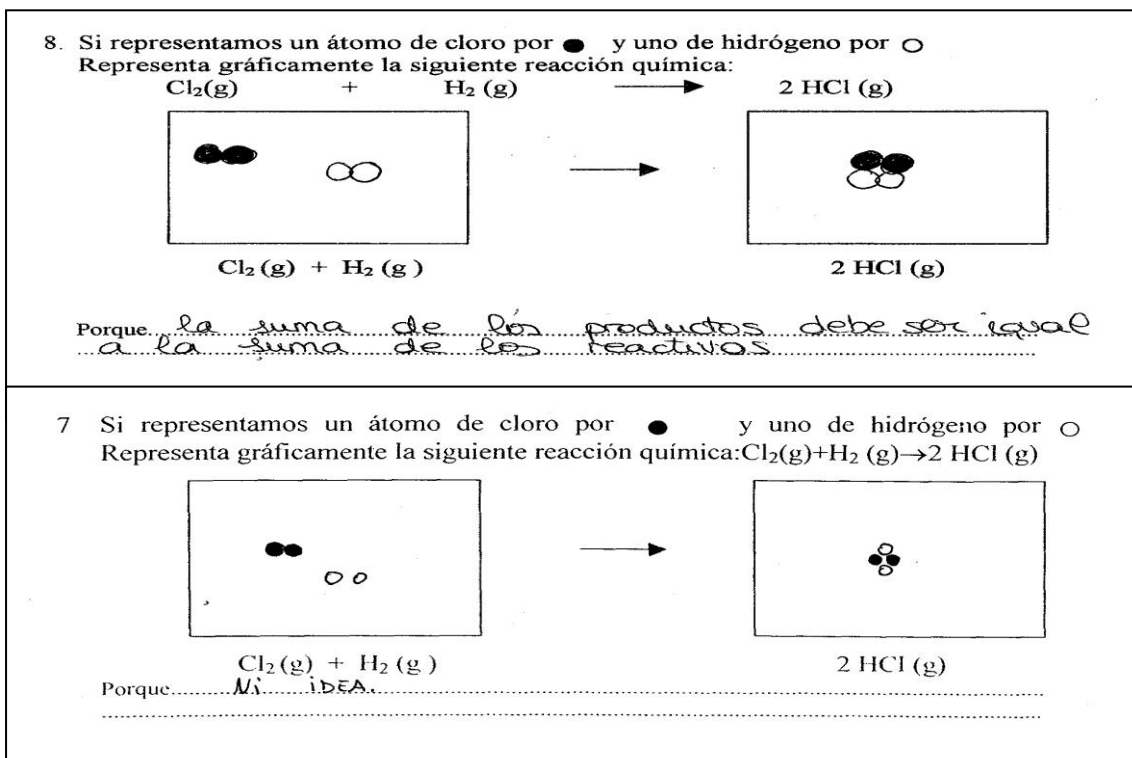


FIGURA 4.7. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE LA REACCIÓN DE FORMACIÓN DE HCl EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DE LOS ESTUDIANTES GEXP-A4-FI y GEXP-A18-FII.

Además muchos otros representan las reacciones como una mezcla, figura 4.8:

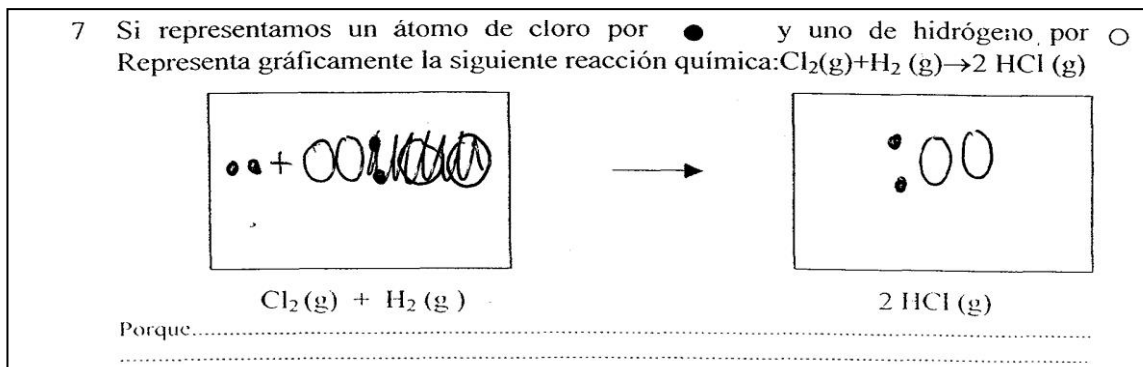


FIGURA 4.8. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DE LA REACCIÓN DE FORMACIÓN DE HCl EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DEL ESTUDIANTE GEXP-A16-FII.

También se han encontrado casos en que no conservan el número de átomos de cada clase, por tanto, no comprenden la conservación de la masa en las reacciones químicas. Además, algunos de estos alumnos consideran que tienen el mismo tipo de sustancia antes y después, como una mezcla más que una reacción pero en la que se pierden átomos (ver figura 4.9).

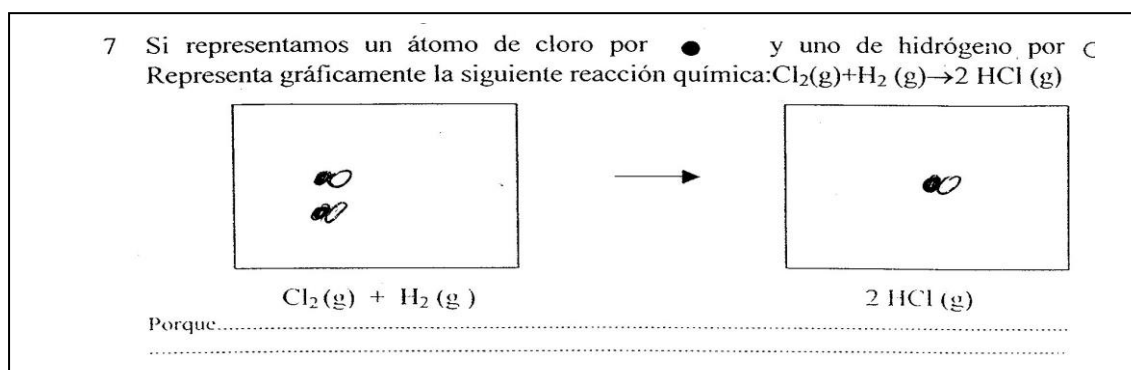


FIGURA 4.9. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DE LA REACCIÓN DE FORMACIÓN DE HCl EN EL MOMENTO INICIAL DE LA EXPERIMENTACIÓN DEL ESTUDIANTE GEXP-A21-FII.

Bloque 4: Relaciones estequiométricas. Reactivo limitante

En lo referente a las cuestiones sobre el significado de una ecuación química y las relaciones estequiométricas, se observa en las respuestas que, mayoritariamente, establecen la equivalencia entre los subíndices de las fórmulas y las cantidades necesarias para formar un compuesto (Yarroch, 1985; Schmidt, 1994).

La gran dispersión de las respuestas en ambos grupos para las respectivas cuestiones iniciales refleja la poca comprensión de los conceptos. Para la primera pregunta de la fase I (C2) la contestación mayoritaria es que para formar N_2O_5 necesitan más cantidad de oxígeno. Confunden las proporciones de átomos en el compuesto con las cantidades de reactivos. No entienden la diferencia entre la cantidad de sustancia y los átomos o moléculas que reaccionan. El 36% indica que se precisa más cantidad de oxígeno por tener un mayor subíndice (5 frente a 2) y en el mismo sentido otro 25% adicional especifica que con cantidades iguales se deberá formar N_2O_2 o NO, relacionando los mismos subíndices y aclarando que de otro modo faltaría oxígeno:

“No hay suficientes moléculas de oxígeno” (GEXP-A3-FII-INI).

“Si se juntan cantidades iguales al final no pueden quedar más átomos de uno que de otro” (GEXP-A4-FII-INI).

“No se puede formar N_2O_5 porque la reacción nunca quedaría ajustada” (GEXP-A14-FI-INI).

Para la cuestión inicial de la fase II sobre la reacción de formación del sulfuro de zinc, C10, se observa que para algunos alumnos el añadir más cantidad de reactivo se reflejará en la fórmula del compuesto final, con adición de ésta. Por ejemplo:

“El compuesto tendrá más azufre porque le añadimos 1g más de azufre que al anterior” (GEXP-A30-FII-INI).

“Cuando se calienta 2g en vez de 1 pues se obtiene el doble de azufre” (GEXP-A9-FII-INI).

También hay una dispersión en la consideración de reactivo limitante y en exceso. En las preguntas anteriores ningún alumno reflexiona sobre la posibilidad de un reactivo limitante. Si se analizan las preguntas diseñadas para estudiar específicamente este aspecto, C5 de fase I y C11 de fase II, se observa como la mayoría no reconocen estos conceptos. Aunque los aciertos en ambas fases son escasos son algo mayor en número en la fase II, quizá por especificar entre la opciones la palabra “gasto” mientras en la primera fase todas las opciones se refieren a diferentes cantidades.

Muchos alumnos aplican de forma equívoca, en diferentes opciones, la idea de conservación de la masa (en la fase I, 13 alumnos de 28, un 46%). Muchos no consideran que pueda existir algún reactivo en exceso aún especificándolo claramente en el enunciado (un 21% de ellos) y entre las justificaciones algunas explicitan que no se puede obtener el compuesto por incumplir la ley de las proporciones definidas:

“Exactamente la suma de las dos cantidades por la ley de conservación de la masa y la ley de las proporciones definidas” (GEXP-A3-FI-INI).

Incluso aparece de nuevo la concepción alternativa de que los átomos gaseosos pesan menos que los mismos en estado sólido. Aparecen otras concepciones en las que no se considera que se produzca una reacción química sino una mezcla, en la que el comportamiento de las dos sustancias varía según su estado de agregación. En el ejemplo siguiente se muestra una de estas justificaciones:

“Menor, porque el carbono como es sólido disminuye su masa y el hidrógeno al ser gas mantiene constante su masa” (GEXP-A11-FI-INI).

Es interesante resaltar también que en el bloque anterior de representaciones microscópicas, ningún alumno dibuja en las cuestiones abiertas, C8 fase I y C7 de fase II, una situación de estequiometría múltiple o con reactivo en exceso. Los pocos alumnos que dibujan bien las especies químicas, no llegan a representar más que la relación 1:1:2 que señalaban los coeficientes del enunciado: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$. Hay pues una deficiente asimilación del concepto de ecuación química como sucede en otros casos en la bibliografía (Raviolo, 2005).

Bloque 5: Combustión

En lo referente a la reacción de combustión ya se han detectado, en cuestiones previas, ideas como la desaparición o transformación en calor, así como la pérdida de masa. En el presente bloque se estudian los productos de una reacción específica, la combustión. Las respuestas son acordes con las concepciones alternativas encontradas en la bibliografía (Meheut et al., 1985). Así, para la C9, la mayoría de las respuestas de la fase I señalan que siempre se forma dióxido de carbono (entre un 35 y un 40%). Otro número considerable, aproximadamente un 25%, se decanta por considerar que siempre se forma dióxido de carbono y agua. Sin embargo, ninguno elige la opción errónea de que en cualquier caso siempre se forme agua y solo una cuarta parte de los alumnos considera correctamente que los productos de la combustión dependen de la sustancia que se queme. Para la fase II la pregunta C12 es abierta pero arroja resultados semejantes, tan sólo dos alumnos en el GEXP y ninguno en el GCON identifica de una manera correcta los productos de la reacción. A continuación se exponen ejemplos de respuestas erróneas en ambas fases:

“H₂O y CO₂. Al calentarse la sustancia el agua que contiene se evapora y el CO₂ porque el oxígeno se mezcla con la sustancia para arder” (GEXP-A7-FI-INI).

“En ninguno se forma agua porque el agua apaga el fuego y el CO₂ en todos porque se produce una reacción con el H” (GEXP-A8-FII-INI).

También, en ambas fases, se observa que los pocos alumnos que contestan bien dan en general razones poco adecuadas o erróneas.

En la pregunta propuesta en la fase dos, donde los alumnos deben elaborar más su respuesta y estudiar diferentes opciones, se observan repeticiones en sus concepciones alternativas tanto en relación a la obtención de agua como a la de dióxido de carbono.

En lo referente al desprendimiento de agua se observa, de forma muy generalizada, que los alumnos relacionan su obtención en una reacción con la existencia o no de ésta en el propio compuesto, como si no fuese un producto de la reacción sino un desprendimiento de una de las sustancias pertenecientes a una mezcla o una deshidratación (BouJauode, 1991; Meheut et al., 1985). En ese sentido abundan las respuestas que señalan que el agua no se obtiene al quemar reactivos como el papel o el carbón pues no lo tienen dentro de él, llegando a sugerir una destilación para conseguirlo:

“Con el alcohol si hay agua porque el alcohol se evapora antes que el agua” (GEXP-A13-FII-INI).

“Obtenemos H₂O sólo en el alcohol porque el alcohol lleva una parte de agua, el resto no porque no llevan agua disuelta” (GEXP-A5-FII-INI).

“Imposible sacar agua del papel. Con el carbón no: He quemado carbón y te aseguro que no sale y con el alcohol mediante una destilación se podría de otra forma no, El S no porque estallaría” (GEXP-A1-FII-INI).

Varios alumnos aseguran que un sólido o un gas no pueden desprender agua:

“Con el butano no porque es un gas, no contiene agua” (GEXP-A6-FII-INI).

“Con el papel no porque está en estado sólido, no contiene agua, con el alcohol sí es un líquido, contiene agua(se evapora)....” (GEXP-A22-FII-INI).

Incluso otros señalan la relación de este hecho con la pureza de los reactivos:

“Con el papel no se desprende agua porque el agua que tiene en su fabricación ya se desprende mediante su secado, el carbón no porque es un mineral fósil y no creo que

contenga agua y el alcohol no porque no creo que tenga agua al ser puro.” (GEXP-A27-FII-INI).

“Con el carbón no se desprende agua porque el C es puro y con el alcohol tampoco porque no contiene agua, el resto no se” (GEXP-A7-FII-INI).

En cuanto al CO_2 es muy general la idea de que si ven humo entonces se habrá producido CO_2 , incluso señalan que debe ser negro. Si no lo ven no se genera dicho gas:

“ CO_2 , Con el S creo que sí por el denso humo que desprende” (GEXP-A27-FII-INI).

“ CO_2 sí con papel porque creo que es el humo negro que sale cuando se quema y también es el humo negro que sale cuando quemas carbón, el resto no se” (GEXP-A12-FII-INI).

Incluso alguno lo relaciona con algo contaminante:

“ CO_2 , en papel y carbón sí porque al quemarlo sale humo negro que supongo que es CO_2 , el S sí porque es contaminante y en el alcohol y butano no porque combustiona completamente” (GEXP-A27-FII-INI).

Bloque 6: Energía de enlace. Balance energético

En cuanto a las cuestiones relacionadas con la energía química, existe gran dispersión en todas sus contestaciones, lo que indica la dificultad en el aprendizaje de este concepto.

Para la fase I, se observa como en la C10 el 21-22% de los alumnos asocian correctamente la idea de energía química a la ruptura y formación de enlaces químicos. Entre las respuestas erróneas, la mayoritaria es que tendrá energía solo por el hecho de ser un elemento químico (32% y 43%), pero muy pocos alumnos escogen una de las concepciones alternativas que aparece en la bibliografía, referida a que moléculas como el oxígeno no entran en las consideraciones energéticas por ser moléculas inorgánicas (Boo,1998).

Unos consideran que el oxígeno no se relaciona con la energía química del proceso por no ser el combustible y, otros, que el oxígeno es necesario pues es el que va a liberar la energía que de alguna forma tiene almacenada el combustible o, por ser él mismo el que la posee:

“El oxígeno no posee energía química porque el O_2 es el que desencadena que el combustible que quemamos libere su energía” (GEXP-A1-FII-INI).

“Si no tuviese energía no haría falta que interviniera en la reacción” (GEXP-A24-FI-INI).

“El oxígeno hace reaccionar al combustible para producir la combustión” (GEXP-A19-FI-INI).

En la fase II esta concepción errónea de considerar las moléculas como almacén (Ross, 1991) resulta ser muy elegida, entre un 20 y un 30% de los estudiantes:

“El carbón posee energía calorífica que se desprende en la combustión” (GEXP-A6-FII-INI).

“El carbón tiene energía que se desprende al calentarse” (GEXP-A14-FII-INI).

En esta fase, aunque la elección de la respuesta correcta es elevada, en las explicaciones se observa que los pocos que razonan su respuesta hablan exclusivamente de rotura y no de balance, mezclan en muchos casos la idea de almacén, incluso varios hablan de energía nuclear en lugar de considerarlo reacciones ordinarias. En ningún caso mencionan la formación de enlaces en el proceso energético:

“No estoy seguro pero cuando un enlace se rompe se libera energía” (GEXP-A4-FII-INI).

“La ruptura de enlaces provoca energía. De ahí que se genere energía nuclear” (GEXP-A5-FII-INI).

“Hay una agitación molecular y este rompe produciendo calor” (GEXP-A7-FII-INI).

En esta fase se ha añadido otra cuestión, C13, sobre la definición de reacciones endo y exotérmicas. Aunque la opción mayoritaria es la correcta (41-43%), es muy abultada la respuesta errónea de que las combustiones son endotérmicas por necesitar el aporte de la llama inicial (26-27%), concepción recogida en la bibliografía (Boo, 1998):

“Endotérmica, tiene que haber algo que caliente el material para que reaccione” (GEXP-A8-FII-INI).

Algunos piensan incluso que es de los dos tipos a la vez, primero endotérmica y luego exotérmica, no considerando en ningún caso la idea de balance energético o energía de activación:

“Primero necesita una fuente de calor y luego desprende mucho” (GEXP-A4-FII-INI).

Bloque 7: Energía. Conservación y degradación de la energía

En la primera cuestión del bloque sobre características de la energía, C12 fase I y C15 fase II, donde se pide realizar una asociación de ideas en una frase sobre energía, los alumnos contestan con dificultad. Son muchos los que, aun identificando una palabra, no logran realizar ninguna frase con

ella. Los alumnos que responden correctamente suelen relacionar conceptos como tipos de energía, energías renovables o características como la conservación o transformación. Pero la gran mayoría de estas respuestas utilizan definiciones vistas en clase que hasta incluyen la fórmula en la frase:

“En la fórmula de la energía aparece v ” (GEXP-A5-FI-INI).

“La energía cinética es $E_c = 1/2mv^2$ ” (GEXP-A21-FII-INI).

Las posibilidades son ilimitadas pero, sorprendentemente, las pocas respuestas que se dan son poco elaboradas y en muchos casos propias de alumnos de niveles educativos previos:

“La luz es un tipo de energía” (GEXP-A23-FI-INI).

“Una bombilla da luz” (GEXP-A8-FII-INI).

“La energía llega a la bombilla y se ilumina” (GEXP-A12-FII-INI).

De hecho es la única cuestión donde la significatividad es menor aunque las respuestas coherentes, en número para cada grupo, son similares (un 29-39% en la primera fase y un 47-36% en la segunda). Como sucede en investigaciones semejantes el número de referencias a la energía química es escasísimo (Gallastegui & Lorenzo, 1993). Aunque un análisis en profundidad de las respuestas es útil para el estudio final, en este punto sólo se analizan si las palabras están relacionadas coherentemente con la energía (la frase que se les pide ayuda a decidir si esa relación es correcta o no).

Las dos últimas cuestiones, referidas a la conservación y degradación de la energía, muestran gran dispersión de las respuestas e indican que, efectivamente, no se han realizado aprendizajes significativos de estos conceptos. Estas dificultades han sido ya recogidas en la bibliografía (Pérez-Landazábal et al., 1995; Solbes, 1998).

En la primera de ellas, referente a la conservación, abundan las contestaciones sobre la pérdida, en general, porque aparece calor, siendo alguno muy contundente diciendo que se destruye la energía.

Entre los alumnos que contestan bien (entre un 4 y un 20%) las explicaciones que dan no son claras, aludiendo en general a lo aprendido académicamente, enunciando la ley de conservación llegando a asegurar que es así por ser lo aprendido en clase:

“El año pasado creo que me dijeron eso” (GEXP-A21-FII-INI).

Otros no lo tienen claro y lo justifican en relación con la conservación de la masa:

“No se conserva, se degrada, la conservación es un caso ideal, porque siempre se pierde cierta cantidad” (GEXP-A1-FI-INI).

“Se conserva porque la masa se conserva” (GEXP-A15-FII-INI).

Para la segunda cuestión es importante señalar que, coincidiendo con los datos bibliográficos, de que la degradación aparece como sinónimo de pérdida energética, persistente hasta en docentes (Rodríguez & Díaz, 2012). En todos los grupos, “se pierde” es la idea más contestada salvo en el GCON de la fase I que es la segunda opción elegida:

“La energía se va perdiendo poco a poco” (GEXP-A14-FI-INI).

“La energía se destruye” (GEXP-A12-FII-INI).

También es elevada la asignación de una “cualidad”, como la riqueza, a la energía y que es esa la que se pierde:

“La energía se va perdiendo y pierde riqueza” (GEXP-A9-FII-INI).

“La energía con el tiempo va perdiendo calidad” (GEXP-A4-FI-INI).

Aunque minoritarias, algunas respuestas se encaminan a que degradar significa contaminar:

“Que contamina” (GEXP-A2-FII-INI).

“Degradar significa contaminar” (GEXP-A5-FI-INI).

Llama la atención que todavía varios alumnos asignen cualidades de la materia a la energía como es el desprendimiento de gases:

“Que va adquiriendo otras sustancias que la van empeorando” (GEXP-A10-FI-INI).

“Que se pierden sustancias” (GEXP-A17-FII-INI).

“Va transformándose en otras sustancias como gases que no podemos aprovechar” (GEXP-A13-FI-INI).

Tras finalizar el análisis cuantitativo y cualitativo de este apartado y a modo de síntesis se puede afirmar que:

Los alumnos de los dos grupos investigados, GEXP y GCON de ambas fases de experimentación, se pueden considerar estadísticamente homogéneos, antes de iniciarse el proceso de enseñanza-aprendizaje, en

relación con las ideas y conocimientos que tienen sobre los contenidos seleccionados con las reacciones químicas y su energía.

4.1.3. ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD DE LOS GEXP Y GCON EN RELACIÓN A CONOCIMIENTOS SOBRE MEDIOAMBIENTE

Para comprobar la homogeneidad de los GEXP y GCON respecto a cuestiones medioambientales, subhipótesis H0.3, se estudian las respuestas de los test TMA de los alumnos mediante la U de Mann-Whitney. El diseño del test se mostraba en el cuadro 2.18 (pp 114-115) y los resultados se presentan en la tabla 4.3.

Analizando los datos se observa que en la fase I las respuestas a todos los ítems arrojan resultados estadísticamente significativos, y en la fase II también, a excepción de la C9, que responden mejor en el GCON. Para esta misma cuestión las muestras de la fase I resultan ser estadísticamente homogéneas pero con significatividad del 90%. Al tratarse de conceptos de medioambiente puede que el GCON de la fase II haya tratado alguna vez los conceptos de este problema en alguna otra disciplina o circunstancia (por ejemplo, alguna noticia de prensa comentada). No se realizarán por tanto comparaciones estadísticas entre el GEXP y GCON de dicha fase en lo referente a esta cuestión, tan sólo para el GEXP en los dos momentos de la investigación.

Desde un punto de vista cualitativo cabe destacar una consideración sobre la asimilación de conceptos ambientales por parte de los alumnos y la presentación en los contextos académicos. En materias como Química o Biología las cuestiones ambientales como son el efecto invernadero, la lluvia ácida, o el ozono como agente contaminante se tratan como un bloque dentro de un mismo capítulo o apartado de una unidad. Sin embargo, la gran mayoría de los alumnos de todas las muestras estudiadas conocen el efecto del aumento de CO₂ sobre el planeta (71-92%) pero son muy pocos los que comprenden el efecto del resto de los agentes contaminantes atmosféricos, hasta el de algunos tan nombrados como los causantes de la lluvia ácida (3-33%). Todo ello podría deberse a la influencia de los medios de comunicación de una forma directa (los alumnos visualizan y leen las noticias) o indirecta (los profesores se vean en la necesidad de hacer referencia a esos temas de actualidad).

TMA			FASE I					FASE II				
			GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
			Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. ¿Qué es la biomasa?	a)	Masa muscular animales	9	32,1	4	17,4	399,0***	0	0,0	2	5,1	522***
	b)	Alimentos sin aditivos,...	1	3,6	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
	c)	Combustibles orgánicos no fósiles	11	39,3	15	65,2		28	93,3	32	82,1	
	d)	Alimentos bajos en calorías...	3	10,7	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	e)	Otras o NS/NC.	4	14,3	3	13,0		2	6,7	4	10,3	
2. ¿Qué consideras que quiere decir crisis energética?	a)	No hay tanta energía como pretendemos gastar	11	39,3	7	30,4	370,0***	12	40,0	13	33,3	732,5**
	b)	Gasto energético del país lo endeuda	2	7,1	2	8,7		0	0,0	1	2,6	
	c)	Desacuerdos por monopolio	1	3,6	1	4,3		0	0,0	2	5,1	
	d)	Escasez tipo energía utilizada, se resiente economía	12	42,9	13	56,5		11	36,7	22	56,4	
	e)	Otras o NS/NC	2	7,1	0	0,0		7	23,3	1	2,6	
3. Enumera tipos de energía renovables.	a)	Identifica varios tipos y entre ellos la biomasa	0	0,0	3	13,0	366,0***	15	50,0	9	23,0	427,5*
	b)	Identifica varios tipos pero no la biomasa.	25	89,3	18	78,3		15	50,0	30	76,9	
	c)	Otras o NS/NC	3	10,7	2	8,7		0	0,0	0	0,0	
4. ¿Qué es la lluvia ácida?	a)	Precipitaciones ácidas de volcán	0	0,0	0	0,0	391,0***	0	0,0	0	0,0	546,5***
	b)	Ácidos producidos por coches,... acumulados en atmósfera	20	71,4	13	56,5		15	50,0	31	79,5	
	c)	Precipitaciones ácidas por transformación gases +agua	3	10,7	7	30,4		10	33,3	6	15,4	
	d)	Precipitaciones ácidas por desertización	3	10,7	3	13,0		1	3,3	2	5,1	
	e)	Otras o NS/NC	2	7,1	0	0,0		4	13,3	0	0,0	
5. ¿Es el ozono siempre beneficioso?	a)	Sí, previene rayos UV	14	50,0	16	69,6	294,5***	26	86,7	18	46,2	570,0**
	b)	No, puede ser contaminante	9	32,1	4	17,4		3	10,0	11	28,2	
	c)	Sí, es oxígeno para respirar	0	0,0	0	0,0		0	0,0	2	5,1	
	d)	No, el de laboratorio	1	3,6	1	4,3		1	3,3	7	17,9	
	e)	Otras o NS/NC	4	14,3	2	8,7		0	0,0	1	2,6	

TABLA 4.3 (1/2)

TMA			FASE I					FASE II				
			GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
			Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
6. ¿Qué agente es debido principalmente el efecto invernadero?	a) Aumento CO₂ FASE I	a) Aumento CO₂ FASE II	18	64,3	20	87,0	393,0**	20	66,7	27	69,2	622,5***
	b) Aumento óxidos de S	b) Aumento óxidos de S	1	3,6	0	0,0		1	3,3	1	2,6	
	c) Aumento óxidos de N	c) Aumento óxidos de N	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	d) Aumento óxidos de N y S	d) Aumento óxidos de N y S	4	14,3	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	e) Otras o NS/NC	e) Aumento CFCs	5	17,9	2	8,7		4	13,3	9	23,1	
		f) Otras o NS/NC	-	-	-	-		5	16,7	2	5,1	
7. ¿Por qué ecologistas están en contra de quemar carbón?	a) Espacio e impacto visual		0	0,0	2	8,7	347,5***	1	3,3	0	0,0	714,0**
	b) Es fuente limitada (fósil)		19	67,9	10	43,5		3	10,0	10	25,6	
	c) Gases más tóxicos que gasoil.		8	28,6	10	43,5		18	60,0	29	74,4	
	d) Es mas caro que la madera		0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	e) Otras o NS/NC		1	3,6	1	4,3		8	26,7	0	0,0	
8. Efecto aumento CO ₂ en planeta.	a) Calentamiento climático		20	71,4	18	78,3	346,0***	27	90,0	36	92,3	600***
	b) Enfriamiento, deshielo polos		3	10,7	1	4,3		0	0,0	1	2,6	
	c) Disminución humedad		1	3,6	3	13,0		0	0,0	0	0,0	
	d) Aumento humedad ambiente		0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	e) Otras o NS/NC		4	14,3	1	4,3		3	10,0	2	5,1	
9. ¿A qué se debe el mal funcionamiento de las calderas	a) Formación metano		1	3,6	1	4,3	444,5*	2	6,7	4	10,3	818,5
	b) Combustión incompleta genera CO		8	28,6	11	47,8		7	23,3	21	53,8	
	c) Acumulación CO ₂		2	7,1	1	4,3		4	13,3	5	12,8	
	d) Desprendimiento cobre		2	7,1	8	34,8		7	23,3	4	10,3	
	e) Otras o NS/NC		15	53,6	2	8,7		10	33,3	5	12,8	
10. Al quemar residuos agrícolas se obtiene E pero se desprende CO ₂ ¿Cómo afecta al medio ambiente?	a) Deforestación		3	10,7	2	8,7	357,0***	0	0,0	4	10,3	707***
	b) Aumento efecto invernadero por aumento CO ₂		4	14,3	9	39,1		14	46,7	15	38,5	
	c) No aumenta efecto invernadero, no hay aumento neto de CO₂		13	46,4	10	43,5		6	20,0	14	35,9	
	d) Disminución capa de ozono		2	7,1	0	0,0		2	6,7	2	5,1	
	e) Otras o NS/NC		6	21,4	2	8,7		8	26,7	4	10,3	

TABLA 4.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN AMBAS FASES EN LA PRUEBA INICIAL SOBRE CONCEPTOS MEDIOAMBIENTALES. En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis de homogeneidad (*** $p > 0,1$, ** $p > 0,05$, * $p > 0,01$).

A la luz de los resultados, se puede indicar que:

Los alumnos de los dos grupos investigados, GEXP y GCON antes de iniciarse el proceso de enseñanza-aprendizaje, se consideran estadísticamente homogéneos para la fase I, en relación con las ideas o conocimientos que tienen sobre los conceptos abordados relacionados con el medioambiente y para la fase II en todos excepto en el concepto de contaminación por monóxido de carbono en las combustiones incompletas.

4.1.4. ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD DE LOS GEXP Y GCON EN RELACIÓN A LAS ACTITUDES HACIA EL MEDIOAMBIENTE

En este apartado se pretende conocer si los alumnos del grupo experimental y control, de ambas fases, presentan homogeneidad estadística en lo relativo a sus actitudes manifestadas hacia el medioambiente como se proponía en la subhipótesis de trabajo H0.4. Las actitudes iniciales son valoradas con dos instrumentos diferentes TACT1 y TACT2 (ver apartado 2.8.3, cuadros 2.20 y 2.21, pp. 118-120). Como ya se indicó, los test se responden en sesiones de tutoría y se proporcionan por los profesores tutores de cada grupo para no condicionar la respuesta del alumnado. Para mayor claridad se van a separar los estudios de ambos test de actitudes.

Primer estudio de homogeneidad en relación a las actitudes

En este primer estudio se analizan las respuestas dadas por los alumnos, en el momento inicial de la investigación, a las dos preguntas abiertas del TACT1. La primera acerca de las preocupaciones sociales de los alumnos y la segunda sobre la consideración, ante un supuesto de la vida cotidiana, de la elección de un combustible. Los datos se recogen en la tabla 4.4 y se analizan a continuación.

TACT1 INI		FASE I					FASE II				
		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39 al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. Problemas de la sociedad actual que te preocupan más	a) Menciona cuestiones ambientales	10	35,7	12	52,2	380,5***	5	16,7	17	43,6	720*
	b) No menciona cuestiones ambientales	17	60,7	11	47,8		25	83,3	22	56,4	
	c) NS/NC	1	3,6	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
2. ¿Qué 3 factores considerarías al elegir combustible para calefacción?	a) Menciona consideraciones ambientales	16	57,1	17	73,9	364,0***	19	63,3	29	74,4	522***
	b) No referencias medioambientales	8	28,6	2	8,7		11	36,7	10	25,6	
	c) Otras o NS/NC	4	14,3	4	17,4		0	0,0	0	0,0	

TABLA 4.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA INICIAL SOBRE ACTITUDES TACT1.

En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis de homogeneidad (**p>0,1, *p>0,05, *p>0,01).

Dado el interés de los contenidos medioambientales para el presente trabajo, las producciones se analizan para la primera cuestión, C1, en términos de si menciona o no entre sus preocupaciones sociales alguna cuestión medioambiental, y para la C2 si tiene en cuenta ese tipo de aspectos en la elección de un combustible para calefacción.

Para la pregunta C1, en la mayoría de los casos, no se ofrece ninguna respuesta que se refiera al medioambiente. Como información adicional, se puede concretar que las contestaciones más frecuentes son terrorismo (con gran diferencia sobre las demás opciones), paro, violencia o maltrato tanto a animales como a personas, las drogas, etc. Datos semejantes se obtienen en la encuestas nacionales, por ejemplo en el CIS de 1996 se señala que el 70% de los encuestados se preocupan por el desempleo y terrorismo, un 62% por las drogas y solo un 23% por cuestiones medioambientales. En datos del eurobarómetro del 2002 los españoles son de los europeos menos preocupados por el medioambiente (EORG, 2002, en Alonso & Manassero 2007, p.26).

En las respuestas a la C2, aumenta el número de referencias de los alumnos a aspectos medioambientales.

Segundo estudio de homogeneidad en relación a las actitudes

El segundo cuestionario de actitudes, TACT2, corresponde a una escala de valoración tipo Likert (1 a 5) en el que cada individuo se debe posicionar ante una determinada opinión o actuación presentada en el enunciado. Para acceder a una mayor información se posibilita en el reverso del test un espacio para justificar cada respuesta, lo que puede servir para evaluar la evolución en actitudes medioambientales al final del proceso de una forma más exhaustiva. Los resultados se muestran en la tabla 4.5. Los valores que aparecen como no contestados (NC) no pueden ser valorados como 0, lo que supondría asumir opiniones extremas, positivas o negativas, hacia el medio ambiente y no es así. Tampoco es correcto valorarlas como 3, “indiferente”, pues no se sabe si es esa la intención al no responder. Para el análisis estadístico de las respuestas no contestadas (NC) lo más correcto es considerar el valor medio de los valores recogidos para dicho ítem en el grupo en cuestión.

TACT 2 INI		FASE I					FASE II				
		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39 al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. Podemos utilizar combustibles fósiles, cuando se agoten las reservas ya habrá otras energías *	NC (2 para GEXP fase I)	1	3,6	0	0,0	340,5***	0	0,0	0	0,0	583,5***
	1. Muy en desacuerdo	3	10,7	5	21,7		8	26,7	3	7,7	
	2. En desacuerdo	12	42,9	8	34,8		7	23,3	13	33,3	
	3. Indiferente	3	10,7	2	8,7		6	20,0	12	30,7	
	4. De acuerdo	6	21,4	6	26,1		6	20,0	9	23,1	
	5. Muy de acuerdo	3	10,7	2	8,7		3	10,0	2	5,1	
2. Uso luz eléctrica en vez de luz solar sin necesidad*	1. Muy en desacuerdo	1	3,6	2	8,7	341,0***	3	10,0	2	5,1	481,5***
	2. En desacuerdo	5	17,9	1	4,3		6	20,0	6	15,4	
	3. Indiferente	1	3,6	3	13,0		6	20,0	1	2,6	
	4. De acuerdo	4	14,3	5	21,7		9	30,0	17	43,6	
	5. Muy de acuerdo	17	60,7	12	52,2		6	20,0	13	33,3	
3. Reciclas a diario	1. Muy en desacuerdo	2	7,1	0	0,0	286,5***	3	10,0	1	2,6	616,0***
	2. En desacuerdo	1	3,6	2	8,7		2	6,7	4	10,3	
	3. Indiferente	1	3,6	2	8,7		6	20,0	5	12,8	
	4. De acuerdo	7	25,0	8	34,8		8	26,7	16	41,0	
	5. Muy de acuerdo	17	60,7	11	47,8		11	36,7	13	33,3	
4. Se debería multar a los que no reciclan	1. Muy en desacuerdo	0	0,0	2	8,7	265,5***	3	10,0	0	0,0	580,0***
	2. En desacuerdo	6	21,4	8	34,8		2	6,7	5	12,8	
	3. Indiferente	11	39,3	4	17,4		11	36,7	18	46,2	
	4. De acuerdo	7	25,0	7	30,4		8	26,7	8	20,5	
	5. Muy de acuerdo	4	14,3	2	8,7		6	20,0	8	20,5	
5. Control medioambiental para empresas o industrias por parte del estado pero no para particulares *	1. Muy en desacuerdo	6	21,4	2	8,7	282,5***	7	23,3	6	15,4	626,5***
	2. En desacuerdo	6	21,4	9	39,1		7	23,3	7	17,9	
	3. Indiferente	7	25,0	2	8,7		5	16,7	13	33,3	
	4. De acuerdo	8	28,6	7	30,4		4	13,3	8	20,5	
	5. Muy de acuerdo	1	3,6	3	13,0		7	23,3	5	12,8	
6. Prohibir instalaciones contaminantes como calderas de carbón aunque cambiarlas suponga a esa persona mucho dinero	NC (3 para GCON fase II)	0	0,0	0	0,0	371,5***	0	0,0	1	2,6	510,5***
	1. Muy en desacuerdo	1	3,6	0	0,0		2	6,7	2	5,1	
	2. En desacuerdo	4	14,3	10	43,5		4	13,3	8	20,5	
	3. Indiferente	11	39,3	5	21,7		11	36,7	15	38,5	
	4. De acuerdo	8	28,6	3	13,0		6	20,0	8	20,5	
	5. Muy de acuerdo	4	14,3	5	21,7		7	23,3	5	12,8	

TABLA 4.5 (1/2)

T ACT 2 INI		FASE I				FASE II					
		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
7. En España debemos seguir utilizando el carbón aunque contamine más por subsistencia de la minería del norte *	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 13 10 3 1	3,6 46,4 35,7 10,7 3,6	2 14 5 1 1	8,7 60,9 21,7 4,3 4,3	390,0***	8 7 9 4 2	26,7 23,3 30,0 13,3 6,7	0 6 12 6 15 0	0,0 15,4 30,8 15,4 18,7 0,0	602,5***
8. Se debería disminuir la velocidad de los coches hasta gasto de combustible mínimo aunque perjudique nuestro ritmo de vida	NC (2 para GEXP fase II) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 6 11 5 5 1	0,0 21,4 39,3 17,9 17,9 3,6	0 2 9 4 6 2	0,0 8,7 39,1 17,4 26,1 8,7	389,5***	1 14 7 5 2 1	3,3 46,7 23,3 16,7 6,7 3,3	0 5 23 6 2 3	0,0 15,8 59,0 15,4 5,1 7,7	740,5**
9. Instalaría una caldera más contaminante si es más barata por economía familiar *	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 7 13 5 2	3,6 25,0 46,4 17,9 7,1	5 4 8 4 2	21,7 17,4 34,8 17,4 8,7	319,5***	2 3 14 9 2	6,7 10,0 46,7 30,0 6,7	8 8 15 8 0	20,5 20,5 38,5 20,5 0,0	766,0*
10.. Se debería subvencionar instalaciones solares aunque sea aumentando los impuestos	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 2 10 11 5	0,0 7,1 35,7 39,3 17,9	1 5 5 6 6	4,3 21,7 21,7 26,1 26,1	298,0***	4 4 2 10 10	13,3 13,3 6,7 33,3 33,3	1 3 5 24 6	2,6 7,7 12,8 61,5 15,4	575,0***
11. Las empresas que producen residuos agrícolas deberían utilizar esos residuos para obtener energía para su instalación	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 0 8 9 10	3,6 0,0 28,6 32,1 35,7	0 2 6 7 8	0,0 8,7 26,1 30,4 34,8	310,5***	0 0 8 9 13	0,0 0,0 26,7 30,0 43,3	0 0 2 27 10	0,0 0,0 5,1 69,2 25,6	580,5***
12. El estado debería destinar dinero de los presupuestos para investigar en energías renovables aún a costa de aumentar los impuestos.	NC (4 para GEXP fase I) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 0 3 10 12 3	0,0 0,0 10,7 35,7 42,9 10,7	0 0 7 2 5 9	0,0 0,0 30,4 8,7 21,7 39,1	361,5***	1 4 2 4 9 10	3,3 13,3 6,7 13,3 30,0 33,3	0 1 5 2 22 9	0,0 2,6 12,8 5,1 56,4 23,1	598,0***

TABLA 4.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA INICIAL SOBRE ACTITUDES TACT 2. Los valores en negrita del estadístico apoyan la hipótesis de homogeneidad (** $p > 0,1$, ** $p > 0,05$, * $p > 0,01$)(continuación) Entre paréntesis aparece el valor medio asignado en el estadístico a la respuesta NC. * Preguntas de valoración inversa.

El valor que se toma debe ser un número entero por necesidades del estadístico, por lo que dicha media se redondea. El valor asignado en cada caso aparece entre paréntesis en la tabla junto a la opción NC, indicando el grupo al que pertenece esa media.

Por otro lado, en algunos artículos se muestran los resultados de este tipo de test juntando las opciones 1 y 2, por un lado, y 4 y 5 por otro (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2006). En el presente trabajo se decide conservar el valor de cada respuesta para diferenciar estos rangos de opinión.

En la valoración de las cuestiones hay que tener en cuenta que las preguntas del test se enuncian de forma diversa para que no resulte obvia su respuesta. Así, existen preguntas enunciadas de forma que la respuesta coincide en orden con la valoración utilizada para el estadístico (un 5 sería el valor máximo). En cambio hay preguntas formuladas de forma inversa, la negación, el valor 1 sería el de máximo valor actitudinal hacia el cuidado del entorno (valor 5 en el estadístico). Las preguntas formuladas de forma inversa (1, 2, 5, 7 y 9) aparecen en la tabla 4.5 con un asterisco en la pregunta.

Se observa que en ambos grupos todas las cuestiones presentan respuestas muy similares y son estadísticamente homogéneas.

Si se analizan las respuestas de los alumnos en este segundo cuestionario, se aprecia como todos los grupos parecen preocuparse por temas medioambientales pero muchos alumnos, también, parecen no estar dispuestos a que eso afecte de alguna forma a su economía o su entorno. Esto sugiere que prefieren un esfuerzo de las empresas o el estado antes que por su parte. En general, son solidarios pero sobre todo “a distancia”, siempre que a ellos no les suponga un esfuerzo especial (apagar luz, desembolsar más dinero por algún aparato menos contaminante, etc.). Esto también está en consonancia con los sentimientos de los ciudadanos europeos, que según datos del eurobarómetro del 2002, están dispuestos a actuar en una inmensa mayoría pero sólo si otros también hacen un esfuerzo. En general los jóvenes europeos están mejor informados que las generaciones mayores y, sin embargo, parecen menos preocupados, adoptando una actitud pasiva, no hacen nada porque otros tampoco lo hacen y confían en que científicos o asociaciones ecologistas lo hagan (Vazquez & Manassero, 2007).

A la vista de los resultados de ambos estudios actitudinales se puede afirmar que:

Los alumnos de los dos grupos investigados, GEXP y GCON de ambas fases de experimentación, se consideran estadísticamente homogéneos antes de iniciarse el proceso de enseñanza-aprendizaje, en relación con las actitudes que presentan hacia las cuestiones relacionadas con el medioambiente y referidas al reciclaje, ahorro energético, selección de combustible, y a medidas personales o decisiones políticas para su protección.

4.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 1 RELATIVA AL APRENDIZAJE DE LA MRPI DEL GEXP

Tras comprobar la hipótesis previa de homogeneidad de las muestras tomadas se contrasta el resto de las hipótesis propuestas en la investigación, comenzando por la hipótesis H1 relativa a la metodología seguida en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En ella se supone que se produce una evolución estadísticamente significativa de los estudiantes del grupo experimental en el aprendizaje de la MRPI, lo que les permite alcanzar niveles de resolución más complejos en cada una de las variables metodológicas y de verbalización en la resolución de problemas abiertos.

Para analizar dicha evolución se evalúan todas las variables metodológicas (VM), definidas en el modelo, y la de verbalización (VV) para cada uno de los problemas seleccionados para la Unidad Didáctica.

Como ya se explica en el apartado 2.8.1.1, el nivel de explicitación y elaboración de cada producción se valorará de 0 a 3. El guión general de la corrección se mostraba en el cuadro 2.8 del capítulo 2 (p. 86) y el particular para cada uno de los problemas propuestos viene dado en el Anexo III donde se resuelven teóricamente.

Los datos recogidos se van a estudiar cuantitativamente y cualitativamente en relación a varios aspectos:

1.- Cómo evolucionan las variables metodológicas y de verbalización de forma global en todos los problemas abiertos y para todos los estudiantes.

2.- Cómo se modifica cada variable a lo largo de la secuencia de los problemas abiertos y la comparación entre la evolución de los aprendizajes de unas variables frente a otras.

4.2.1. EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES METODOLÓGICAS Y DE VERBALIZACIÓN A LO LARGO DE LA SECUENCIA DE LOS PROBLEMAS TRABAJADOS EN LA UNIDAD DIDÁCTICA

El análisis de los resultados se lleva a cabo mediante la técnica ANOVA. Se realiza el test de la F para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores medios por niveles obtenidos en cada una de las variables. Se tiene así el análisis estadístico conjunto de todas las variables para todos los problemas y para todos los estudiantes. La hipótesis nula del estadístico es que no hay diferencias significativas entre los valores obtenidos para las variables a lo largo de la realización de los diferentes problemas, frente a la hipótesis alternativa de que sí las hay. Los resultados se presentan en la tabla 4.6.

DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES MEDIOS POR NIVELES							
	PROBLEMA	VM1 análisis cualitativo del pb	VM2 emisión de hipótesis	VM3 estrategia de resolución	VM4 resolución	VM5 análisis de resultados	VV verbalización
FASE I	56,28***	12,46***	16,66***	11,90***	20,84***	15,59***	29,34***
FASE II	44,00***	17,80***	11,64***	8,45***	13,90***	7,93***	31,10***

TABLA 4.6. RESULTADOS OBTENIDOS EN TEST DE LA F. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de diferencias significativas dentro de cada uno de los factores (***) $p < 0,001$.

Como se observa, se rechaza la hipótesis nula para todos los valores en ambas fases y para todos los factores contemplados, por lo que se confirma la hipótesis alternativa de que existen diferencias significativas entre los valores medios por niveles alcanzados por los estudiantes del GEXP para el conjunto de todos los problemas, para cada variable metodológica y para la de verbalización.

A la vista de los resultados obtenidos se puede afirmar que:

Los alumnos del GEXP, de ambas fases de experimentación, evolucionan de forma estadísticamente significativa en el aprendizaje de la MRPI, lo que les ha permitido alcanzar niveles de resolución más complejos en cada una de las variables metodológicas y de verbalización en la resolución de los problemas abiertos.

Para completar la información, en el cuadro 4.3, se muestra la relación entre los valores medios de todas variables obtenidos a partir de la información recogida del Test de medias de rangos múltiples de Tukey. Este estadístico permite determinar las medias que son estadísticamente diferentes a otras y las que se consideran homogéneas por no encontrarse diferencias significativas respecto a sus niveles medios. Los valores que muestra el estadístico se encuentran ordenados en sentido creciente de valor medio y, además, nos indica esa diferencia o semejanza entre los valores mediante una representación gráfica de cruces. Si éstas se encuentran alineadas en la misma columna las medias de las variables a las que pertenecen se pueden considerar estadísticamente homogéneas y, si no es así, aparecerán en columnas diferentes y existirán diferencias estadísticamente significativas.

Si se observan los datos obtenidos se detecta que existen dos grupos de valores homogéneos para la fase I y cuatro para la fase II. Si se representa de forma más visual, uniendo con corchetes los valores estadísticamente homogéneos, se obtiene el esquema ubicado debajo de los datos del test en el cuadro 4.3.

En la parte derecha se muestran gráficamente, de forma más visual, los valores medios de las variables. En las gráficas aparece una línea central situada en la media de todos los valores medios encontrados para las variables.

Se observa claramente que la VM2 y VM4 muestran los peores resultados pues en ambas fases se encuentran por debajo de ese valor medio indicando y, las VM3 y VM1, están por encima en ambas fases indicando mejores resultados. La VM5 tiene valores diferentes en ambas fases, en la primera obtiene resultados por encima de la media y en el final justo en la media, pero nunca peores que esta.

Valores mostrados por el estadístico para la Fase I

Multiple Range Tests for VALOR by VM

Method: 95,0 percent LSD

VM	Count	Mean	Homogeneous Groups
4	336	1,33929	X
2	336	1,36905	X
3	336	1,69643	X
1	336	1,7619	X
5	336	1,8244	X

Valores mostrados por el estadístico para la Fase II

Multiple Range Tests for VALOR by VM

Method: 95,0 percent LSD

VM	Count	Mean	Homogeneous Groups
2	300	1,23333	X
4	300	1,3	XX
5	300	1,42333	XX
1	300	1,50333	XX
3	300	1,64	X

Grupos de valores medios de las variables para la Fase I

Variables metodológicas VM4 VM2 VM3 VM1 VM5

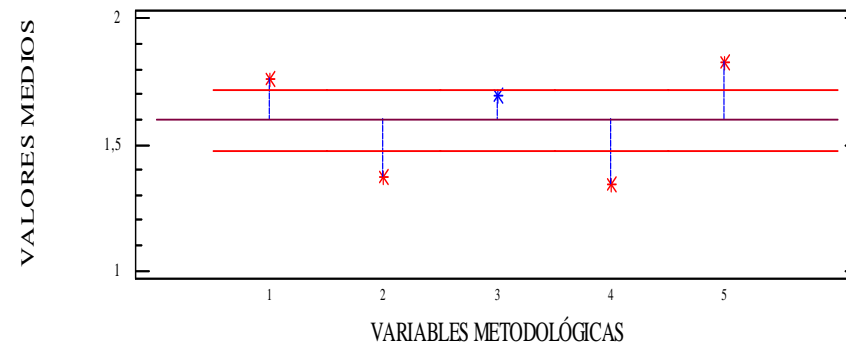
Grupos homogéneos

Grupos de valores medios de las variables para la Fase II

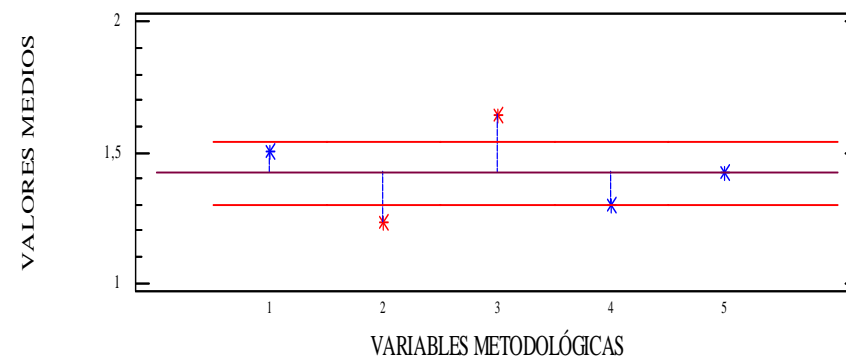
Variables metodológicas VM2 VM4 VM5 VM1 VM3

Grupos homogéneos

ESTUDIO DE LOS VALORES MEDIOS OBTENIDOS EN LAS VM PARA LA FASE I



ESTUDIO DE LOS VALORES MEDIOS OBTENIDOS EN LAS VM PARA LA FASE II



CUADRO 4.3. COMPARACIÓN DEL VALOR MEDIO POR NIVELES DE LAS VARIABLES METODOLÓGICAS MEDIANTE EL TEST DE MEDIAS DE RANGOS MÚLTIPLES DE TUKEY.

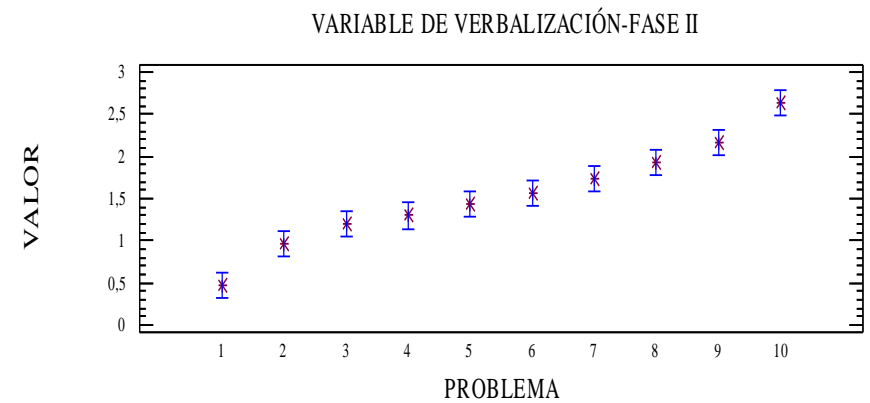
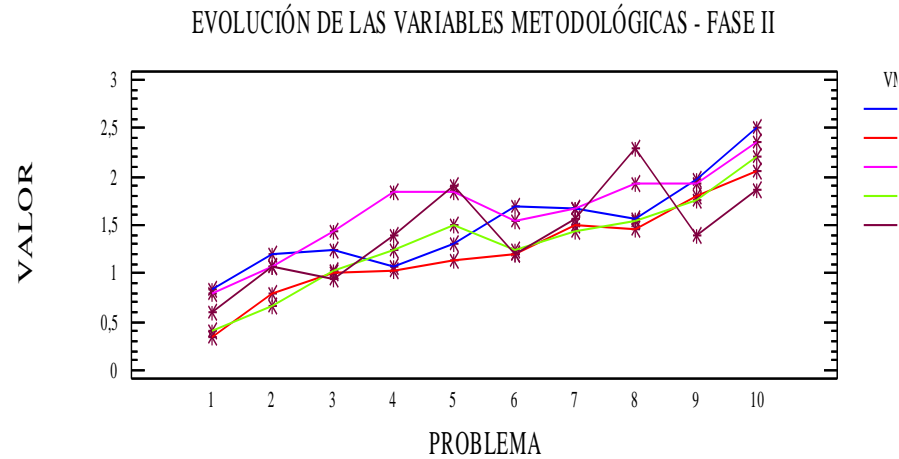
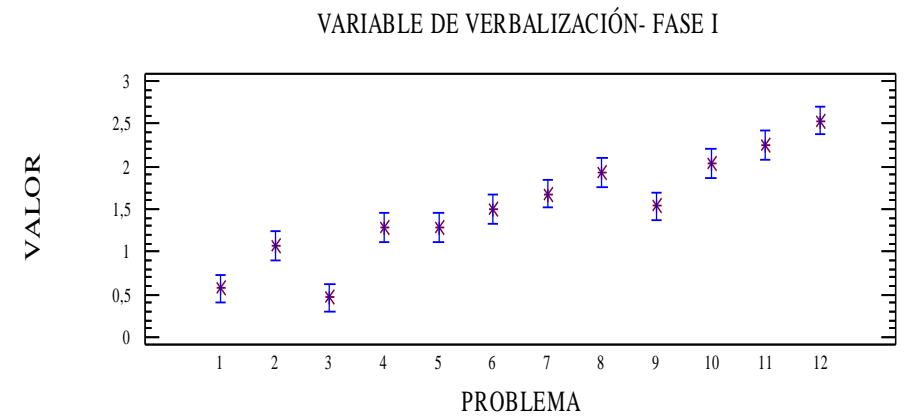
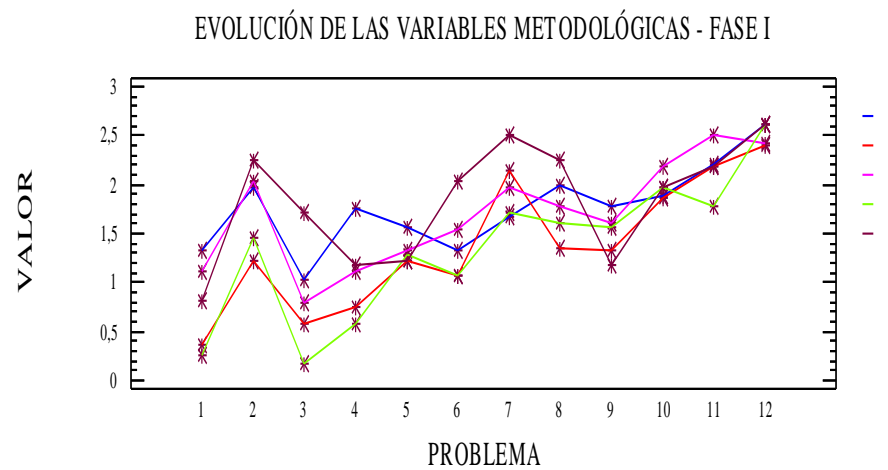
4.2.2. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL APRENDIZAJE DE LAS VARIABLES A LO LARGO DE LA SECUENCIA DE LOS PROBLEMAS

Tras constatar la diferencia entre los valores medios de cada variable de forma general, se analiza la evolución que se produce a lo largo de la sucesión de problemas. Si se representan para cada problema los valores medios por niveles obtenidos en las distintas variables se puede observar la evolución de los alumnos del GEXP a lo largo de la investigación. Para ello, se utiliza el análisis ANOVA multifactorial. Las gráficas para cada fase se muestran en el cuadro 4.4.

A lo largo del proceso, en ambas fases, se observa una progresión en los valores de todas las variables. Estos resultados expresan que se ha producido un aprendizaje a lo largo de la resolución de los problemas. Aunque los finales son más complejos que los iniciales, los alumnos van a su vez adquiriendo más destreza en la resolución por lo que la gráfica, en general, muestra un ascenso progresivo. En ambas fases se detectan pequeñas recaídas. Las más importantes, en la fase I, tienen lugar en el P3 y en el P9. En la fase II en el P6 y P9 aunque son más suaves que en la primera fase. A continuación se analiza lo sucedido.

En la fase I hay una recaída importante en el P3, que queda más acentuada por la gran subida en valor del P2. Esto se puede deber a que el P2 era semejante, en contenido y resolución, al P1. Los alumnos aprenden su resolución y resuelven más o menos correctamente el P2 pero al encontrarse un contexto diferente como es el del P3 manifiestan desconcierto. Algo parecido sucede al pasar del P6 al P7 cuya subida parece deberse a que ambos son de tipo experimental sencillos. El P8 también es experimental, aunque algo diferente, y produce alguna bajada en alguna VM pero la caída importante en las VM y VV se produce en el siguiente, el P9, que es de nuevo de lápiz y papel. Lo mismo ocurre con el problema 5 y 6 de la fase II. Parece pues que los cambios en el tipo de problema o contenido influyen en la resolución. En una investigación similar del equipo de investigación, con estudiantes de Biología, sucedía lo mismo cuando cambiaba el tipo de problema en base a diferentes modelos de herencia:

“La dificultad en la resolución de un determinado tipo de problema estriba en la necesidad de buscar un nuevo patrón o modelo de herencia para resolverlo” (Ibáñez, 2003, p. 385).



CUADRO 4.4. EVOLUCIÓN DE LOS VALORES MEDIOS POR NIVELES OBTENIDOS EN LAS DISTINTAS VARIABLES METODOLÓGICAS Y DE VERBALIZACIÓN PARA CADA PROBLEMA.

En general, los cambios en la tipología de los problemas producen retroceso, no sólo en la mayoría de las variables metodológicas sino también en la de verbalización. Parece adecuado evitar que, precisamente en este tipo de problemas abiertos, los alumnos esperen algún tipo de situación trabajada o memoricen procedimientos, lo que acabaría con gran parte de la esencia del trabajo con situaciones abiertas. Así, en la segunda fase se retiran varios problemas por repetitivos y se procura intercalar los problemas de laboratorio y de lápiz y papel para no dar lugar a aprendizajes que resulten de algún modo memorísticos. En ese sentido la gráfica de los valores de las VM y VV para la fase II muestra un avance más progresivo, sin muchas recaídas, lo que parece indicar una mejor selección de las situaciones problemáticas que conforman la Unidad Didáctica.

A la vista de los datos de las gráficas que aparecen en los cuadros 4.3 y 4.4 se pueden señalar las siguientes apreciaciones:

- Al final del proceso todas las variables alcanzan niveles de resolución muy altos y estadísticamente significativos respecto al momento inicial (entre 2,4 y 2,6 para la fase I y entre 1,8 y 2,5 para la fase II en una valoración de 0 a 3).
- La variable mejor puntuada en el momento final en ambas fases es la VM1, análisis cualitativo del problema (2,6 y 2,5 respectivamente).
- En el momento final en la fase I las diferencias entre los valores de todas las variables es escasa y la cercanía de los valores VM2 y VM3 no permite concluir que exista una peor valorada que otra. En la fase dos, sin embargo, las diferencias son mayores y se observa que la que peor resultado obtiene en el momento final es la VM5, análisis de los resultados.
- La emisión de hipótesis, VM2, y la resolución de problemas, VM4, son las variables que tienen valores medios con resultados significativamente peores que las demás a lo largo de todo el proceso en ambas fases siendo, además, las que parten de menor puntuación en el momento inicial en ambas fases (alrededor de 0,3 en ambas fases) y quizá por ello son las

que presentan una evolución más importante (en ambas fases alrededor de dos puntos).

- La VM2 resulta a los alumnos desde el principio muy difícil por ser una tarea complicada y poco habitual, como señala Reyes (1991) en trabajos con problemas abiertos de química. El autor justifica dicha dificultad por la necesidad de la utilización comprensiva de los conceptos que deben haber adquirido: *“Establecer conjeturas razonadamente acerca de la dependencia de magnitudes implicadas en el problema obliga a utilizar comprensivamente los conceptos adquiridos”* (Reyes, 1991, p. 73). En estudios semejantes de Física en relación a problemas de mecánica y electricidad, esta variable es la que relativamente experimenta menor evolución (Varela, 1994). La diferencia con Biología se hace patente pues se obtienen valores medios mejores en VM2 junto con VM1. En Biología parece ser que *“Los estudiantes obtienen valores medios algo más altos en la VM2 porque, sin la necesidad de un análisis muy completo, pueden plantear una suposición sobre lo que se espera y que ésta se ajuste a lo más posible y científicamente probable ya que, en su vida diaria, la influencia y el uso de conocimientos sobre diversos aspectos biológicos es habitual”* (Ibáñez 2003, p. 380).
- Los resultados bajos de la VM4 coinciden con trabajos similares de Física (Varela, 1994), en los que esta variable obtuvo también valores por debajo de la media de todas las variables aunque no es la de peores resultados. Sin embargo para Biología la diferencia con la Física y la Química se hace patente pues *“En los problemas de Genética y de Biología, en general, el proceso de resolución no implica grandes dificultades en los estudiantes porque es una actividad a la que están acostumbrados y que no requiere el uso de algoritmos complejos como en Física y Química”* (Martínez-Aznar et al., 2001).
- El análisis cualitativo del problema, VM1, y la elaboración de estrategias de resolución, VM3, son las que mejor puntuación obtienen en los primeros problemas en ambas fases (por encima de 1 en la fase I y alrededor del 0,9 en la fase II) y las

que obtienen valores medios significativamente mejores que las demás en ambas fases. Esta posición inicial aventajada hace que presenten incrementos intermedios (sobre un punto y medio). Estos datos no coinciden con los señalados en Biología donde se obtienen mejores resultados para la VM4 que para la VM3, los estudiantes realizan mejor la resolución del problema que la explicación de cómo van a resolverlo (Ibáñez, 2003). En el trabajo de Ibáñez la VM2 era la de mayor puntuación inicial, junto con VM1, y las de menor la VM3 y VM5.

- La VM5 tiene resultados variables, en ambas fases, que complican su análisis. Por un lado, observando las gráficas del cuadro 4.3, las medias para esta variable muestran valores aceptables, encontrándose o bien en la media para todas las variables (fase II) o por encima (fase I), nunca por debajo. Sin embargo, si se observan las gráficas del cuadro 4.4, se comprueba que si bien en la primera fase presenta un gran incremento (alrededor de 1,8 puntos), en la segunda es la que menos evoluciona, (aproximadamente 1,2 puntos). Además, es la peor valorada en el último problema de evaluación para la fase II (1,8 puntos). En el caso de los estudios en la misma línea de Física (Varela, 1994) y Biología (Ibáñez, 2003) esta variable es la que peores resultados obtiene. Esto solo se refleja en el estudio para la fase II, presentando los peores resultados tanto en el momento final como en el incremento de sus valores.

4.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 2 RELATIVA A LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CERRADOS DE LOS GEXP Y GCON

Para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en la resolución de problemas cerrados a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON que ha trabajado con una metodología más tradicional, se analizan las respuestas dadas a las pruebas de problemas cerrados (PC) propuestas por los profesores que imparten clase en el GCON y que aparecen en el apartado 2.8.1.2, cuadros 2.9 y 2.10. (p.87 y 88).

Las respuestas de los dos grupos independientes, GEXP y GCON, se analizan con el Test de la U de Mann-Whitney. La hipótesis nula es que las frecuencias de las respuestas de ambos grupos sean homogéneas frente a la alternativa de que existan diferencias significativas a favor del grupo experimental, que es la que interesa. A continuación, en la tabla 4.7, se presentan los resultados de estas pruebas.

En la corrección de los diferentes ítems se tiene en cuenta que los problemas planteados son en sí una cadena de cuestiones. Un error numérico en la primera influirá en las demás y si sólo se observase el resultado numérico final no se determinaría, claramente, si saben manejar la información que proporcionan las ecuaciones químicas, que es lo que se pretende. Por ello, y tal como se suelen puntuar estos exámenes de cuestiones cerradas, cada apartado se ha considerado de forma independiente, teniendo en cuenta el concepto o procedimiento abordado y no las interrelaciones con otros apartados (por ejemplo, si partiendo de una ecuación mal ajustada se realizase un correcto tratamiento del problema a la hora de calcular masas, volúmenes, etc.).

Para recoger mayor información de la prueba, a la hora de la corrección se abren, en ciertas cuestiones, subapartados (a1, a2, etc.) que profundizan más detalladamente en el trabajo desarrollado por los alumnos. En la tabla 4.7 se especifican estos subapartados junto con la información que se analiza en cada uno. Esto sucede en el primer apartado de los problemas cerrados 2 y 3 para ambas fases.

PC I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	PC II		GEXP (30 al.)		GCON (39 al.)		U Mann- Whitney
		N°	%	N°	%				N°	%	N°	%	
1. Cuando el cloro reacciona con el nitrato de plata forma cloruro de plata, pentóxido de nitrógeno y oxígeno.	a) Escribe y ajusta	22	78,6	15	65,2	279	1. La reacción de 500g de pirita que posee un 40% de FeS ₂ produce la siguiente reacción: FeS ₂ (s) + Oxígeno(g) → óxido de hierro (III) (s) + dióxido de azufre(g)	a) Escribe y ajusta la ecuación	25	83,3	22	56,4	427,5***
	b) ¿Cuántos moles de N ₂ O?	24	85,7	14	60,9	242**		b) Calcula el volumen de dióxido de azufre desprendido en c.n.	21	70,0	15	38,5	400,5***
	c) ¿Cuántos g de AgCl?	24	85,7	13	56,5	228***							
	d) ¿Qué V de oxígeno...?	24	85,7	7	30,4	144***							
2. Una mezcla de 5g hierro y 4g azufre se calienta para dar sulfuro de hierro (II).	a) ¿Qué reactivo está en exceso?						2. El ácido clorhídrico reacciona con el calcio y da cloruro de calcio e hidrógeno. Si se añadieron 2 litros de ácido de concentración 0,3M a 20 moles del alcalinotérreo, Indica:	a) ¿Cuál es el reactivo limitante?					
	a1. Ajuste de la reacción	24	85,7	12	52,2	214***		a1. Ajuste de la reacción	23	76,7	17	43,6	391,5***
	a2. Reconoce el reactivo en exceso/limitante	27	96,4	11	47,8	166***		a2. Reconoce el reactivo en exceso/limitante pero no lo justifica	27	90,0	23	59,0	403,5***
	a3. Calcula el exceso	19	67,9	9	39,1	230*		a3. Reconoce y justifica el reactivo limitante	12	40,0	6	15,4	441,0***
	b) ¿masa de FeS se formará?	21	75,0	11	47,8	234*		b) ¿Cuántas moléculas de la sal se han obtenido?	17	56,7	12	30,8	433,0***
3. El amoníaco reacciona con el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno y agua.	a) V de O ₂ en c.n. para quemar 25L de NH ₃						3. En el proceso en el que el monóxido de carbono reacciona con el hidrógeno para dar metanol (CH ₃ OH) se desprenden 125 kJ/mol de metanol.	a) Escribir y ajustar la ecuación termoquímica.					
	a1. Ajuste de reacción	18	64,3	9	39,1	241**		a1. Ajuste de la reacción química, sin contar energía	26	86,7	23	59,0	423,0***
	a2. Cálculo de volumen	22	78,6	13	56,5	251**		a2. Ajuste de la reacción termoquímica, con entalpía	7	23,3	12	30,8	628,5
	b) V de NO, 20 °C y 0,97atm	20	71,4	9	39,1	218***		b) Si se añaden 89,6 litros de hidrógeno medidos a 40°C y 4atm ¿Cuál es la cantidad de calor generada?					
	c) Masa de agua obtenida al quemarlos	20	71,4	11	47,8	204***			19	63,3	13	33,3	409,0***

TABLA 4.7. RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE PROBLEMAS CERRADOS. Los valores en negrita del estadístico apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (**p<0,001, *p<0,01, *p<0,05).

Como se observa, las respuestas dadas por los alumnos presentan diferencias significativas a favor del GEXP frente al GCON en todos los apartados estudiados en ambas fases, excepto en uno de cada una.

El manejo correcto o incorrecto de la información proporcionada por una ecuación química, a la hora de realizar cálculos estequiométricos, se detecta a través de varios aspectos:

- En primer lugar se comprueba si saben escribir correctamente una ecuación química y ajustarla. Este contenido se observa en los problemas PC1 (a), PC2 (a1) y PC3 (a1) tanto de la fase I como de la II. Todas estas cuestiones muestran diferencias estadísticamente significativas a favor de los GEXP, en ambas fases, excepto la PC1(a) de la fase I. En esta cuestión la semejanza en el número de aciertos puede deberse a la explicitación del procedimiento a seguir en el enunciado, mientras que en los PC2 y PC3 los alumnos deben tomar la decisión de escribir y ajustar la ecuación química para poder realizar el problema. En estos casos más complejos los alumnos del GEXP muestran diferencias estadísticamente significativas a su favor sobre el GCON.
- En cuanto al manejo adecuado de la información que proporciona una ecuación química para realizar cálculos estequiométricos, se analizan los resultados de varios apartados relativos a cálculos de: cantidad de sustancia (PC1 b de fase I), moléculas (PC2 b de fase II), masas (PC1 c, PC2 c y PC3 c para la fase I) o volúmenes (PC1 d, PC3 a2 y b para la fase I y PC1 b para la fase II). En todos los casos y para las dos fases, los estudiantes del GEXP realizan de forma estadísticamente significativa resoluciones más correctas que el GCON.

En relación al concepto de reactivo limitante y en exceso:

- La identificación de los reactivos limitantes y en exceso (PC2 a2 y a3 para la fase I y PC2 a2 y a3 para la fase II) es significativamente mejor en los GEXP en ambas fases.

- La realización de cálculos partiendo de las cantidades del reactivo limitante y del reactivo que queda en exceso aparecen en los problemas PC2 a3 y b (para fase I) y PC2 b (para fase II). Los cálculos estequiométricos propuestos son resueltos estadísticamente mejor por el GEXP que por el GCON en ambos momentos de la investigación.

En cuanto a los aspectos energéticos ligados a una ecuación química, estudiados solo en la segunda fase de la investigación, (PC3), se comprueba que:

- Aunque existen diferencias significativas en la formalización de la escritura de la ecuación química a favor del GEXP para el problema (PC3 a1), hay homogeneidad en las respuestas al escribir la ecuación termoquímica para ambos grupos (P3 a2).
- El GEXP relaciona los datos energéticos que se les proporcionan con la ecuación química y realizan los cálculos energéticos significativamente mejor que el GCON (PC3 b).

En síntesis se puede indicar que:

Se produce un cambio procedimental, estadísticamente significativo, a favor del grupo experimental que ha trabajado con la MRPI respecto al GCON que ha trabajado con una metodología tradicional, en relación a capacidades de resolución de problemas cerrados tales como el ajuste de ecuaciones, cálculos estequiométricos, reconocimiento de reactivo limitante y realización de cálculos con éste y cálculos energéticos. Sin embargo no se detectan diferencias significativas en la escritura de ecuaciones termoquímicas.

4.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 3 RELATIVA AL CAMBIO CONCEPTUAL DE LOS GEXP Y GCON

En este apartado se contrasta la hipótesis 3, relativa al cambio conceptual de los alumnos de los grupos experimental y control. Así, para cada subhipótesis, se muestran los datos recogidos y el análisis estadístico correspondiente y, posteriormente, se lleva a cabo un estudio cualitativo centrado en las producciones de los alumnos.

Estos estudios se hacen, al igual que en el caso de la homogeneidad, por bloques de contenidos. Para cada uno de ellos se analiza la información que arrojan las respuestas de los alumnos del grupo experimental, tanto en sus contestaciones erróneas como en las correctas, y se comparan con las expresadas en el momento inicial o por las de los estudiantes del GCON, según la hipótesis de que se trate.

4.4.1 CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 3.1 RELATIVA AL CAMBIO CONCEPTUAL DEL GEXP SOBRE REACCIONES QUÍMICAS

Para esta finalidad se utilizan los test de conceptos de reacciones químicas TQ antes y después del proceso de enseñanza-aprendizaje (TQ_{INI} y TQ_{FIN}). Ambos cuestionarios para los dos momentos y para las dos fases son ligeramente diferentes entre sí, como se vió en el apartado 2.8.2, (pp. 91-109) aunque las preguntas se encuentran pareadas según los conceptos a estudiar. Para analizar las respuestas se utiliza el test de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon. Se correlacionan las preguntas y las opciones de cada una y se puntúan de igual forma en cada test, de manera que se puedan estudiar juntas. La hipótesis nula del estadístico es la homogeneidad frente a la alternativa de que el aprendizaje producido en el momento final es mejor que el inicial.

En la tabla 4.8 aparecen las preguntas de ambos test junto con el concepto con que se relacionan y los valores obtenidos por el grupo. En paralelo aparecen los resultados de ambas fases para preguntas que investigan el mismo concepto. Los espacios en blanco en la tabla se deben a la no correspondencia entre preguntas de una y otra fase.

	TQ I				GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ II				GEXP (30 alumnos)				Wilconxon
	INICIAL	FINAL			INICIAL		FINAL			INICIAL	FINAL			INICIAL		FINAL		
					Nº	%	Nº	%						Nº	%	Nº	%	
PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO	I-C1	F-C1	a)	Cambia de estado	6	21,4	0	0,0	3,81***	I-C1	F-C1	1. Ídem fase I	8	26,7	0	0,0	4,22***	
	¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?	b)	Se transforma en calor	8	28,6	0	0,0	6		20,0	0		0,0					
		c)	En otras sustancias	8	28,6	28	100,0	6		20,0	29		96,7					
		d)	Desaparece	1	3,6	0	0,0	2		6,7	0		0,0					
		e)	Otras o NS/NC	5	17,9	0	0,0	8		26,7	1		3,3					
									I-C2	F-C2	a) R. Química, explica bien b) R. Química, explicación incompleta c) R. Química explica mal d) Identifica proceso físico e) Otras o NS/NC	0	0,0	12	40,0	2,91**		
	Un líquido naranja en un tubo se calienta y cambia.... ¿ha habido cambio químico?								Se calienta un tubo con sólido amarillo y cambia... ¿Qué ha ocurrido?	4		13,3	9	30,0				
										14		46,7	0	0,0				
CONSERVACIÓN DE LA MASA	I-C3	F-C3	Se calientan 6g de Mg se forma 10g de polvo blanco, ¿por qué la masa ha aumentado?	a) Oxígeno mezclado b) Mg se expande c) Imposible, m se conserva d) Mg reacciona con O ₂ e) Mg gana calor f) Otras o NS/NC	2	7,1	5	17,9	1,56*	I-C3	F-C3	Idem fase I (se calientan 6g de Mg...)	5	16,7	23	76,7	3,28***	
		0			0,0	0	0,0	25		83,3	7		23,3					
		15			53,6	3	10,7	F-C4		a) Interpretan bien la conservación de la masa b) Interpretan mal la conservación de la masa	5		16,7	24	80,0			
		7			25,0	19	67,9				Un coche quema 50kg de gasolina ¿masa de gases?		25	83,3	6	20,0		
		1			3,6	1	3,6							a) Interpretan bien la conservación de la masa b) Interpretan mal la conservación de la masa				
3	10,7	0	0,0															

REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	TQ I			GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ II			GEXP (30 alumnos)				Wilconxon					
	INICIAL	FINAL		INICIAL		FINAL			INICIAL	FINAL		INICIAL		FINAL							
				Nº	%	Nº	%					Nº	%	Nº	%						
I-C7	F-C6	a) Bien b) Mal o NS/NC	23 5	82,1 17,9	26 2	92,9 7,1	-2,43	I-C5	F-C5	a) Identifican los 4 b) Identifican 3 c) Identifican 2 d) Identifican 1 e) No identifican o NS/ NC	6 6 8 8 2	20,0 20,0 26,7 26,7 6.7	21 7 1 1 0	70,0 23,3 3,3 3,3 0.0	3.47***						
Dibuja 3 moléculas de O ₂	Dibuja recipiente con CO ₂							Identificación de diagramas de elemento, compuesto y mezcla													
I-C8	F-C7	a) Bien b) Mal pero sustancias bien c) Mal sustancias o NS/NC	8 20 0	28,6 71,4 0,0	22 6 0	78,6 21,4 0,0	4.59***	I-C7	F-C6							a) Bien, estequiometría múltiple y con exceso b) Bien múltiple sin esceso c) Bien, según coeficientes d) Mal estequiometría e) Mal sustancias o. NS/NC	0 0 9 13 8	0,0 0,0 30,0 43,3 26,7	21 1 7 0 1	70,0 3,3 23,3 0,0 3,3	4.81***
Representa:								Ídem inicial fase I	Ídem final fase I												
Cl ₂ (g)+ H ₂ (g)→ 2HCl(g)	N ₂ (g)+ 3H ₂ (g)→ 2NH ₃ (g)																				
								I-C8	F-C7	a) No identifica sustancias b) Considera una mezcla c) Identifica especies d) Solo coeficientes dados e) Indica reactivos en exceso	2 2 26 0 0	6,7 6,7 86,7 0,0 0,0	3 0 1 1 25	10,0 0,0 3,3 3,3 83,3	4.12***						
								Juntamos H ₂ +O ₂ y se produce H ₂ O. ¿Qué matraz representa?	Juntamos Cl ₂ + H ₂ y se produce HCl. ¿Qué matraz lo representa?												
I-C11	F-C12	a) X+2Y→ Y ₂ X	0	0,0	2	7,1	1,34	I-C9	F-C8	a) Bien, con ajuste b) Bien, pero sin ajuste c) Bien sustancias, ajuste mal d) Mal, cuenta el exceso e) Mal sustancias o NS/NC	3 0 1 20 6	10,0 0,0 3,3 66,7 20,0	20 6 2 2 0	66,7 20,0 6,7 6,7 0,0	4.53***						
Identificar la ecuación que representa la reacción entre X e Y		b) X₂ +Y→ XY₂ y b) ajustada	15	53,6	22	78,6		Identificar la reacción entre X e Y (opciones)	Ídem pero, abierta (sin opciones)												
		c) 2X +1/2Y ₂ →YX ₂	0	0,0	0	0,0															
		d) X+Y→ YX	0	0,0	0	0,0															
		e) 2X+Y ₂ → Y ₂ X + X	3	10,7	2	7,1															
		f) Otras o NS/NC	10	35,7	2	7,1															

TABLA 4.8 (2/4)

		TQ I			GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ II			GEXP (30 alumnos)				Wilconxon			
		INICIAL	FINAL		INICIAL		FINAL			INICIAL	FINAL		INICIAL		FINAL					
					Nº	%	Nº	%					Nº	%	Nº	%				
RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS . REACTIVO LIMITANTE.	I-C2	F-C2	a) No, necesito más O	10	35,7	1	3,6	3,92***	I-C10	F-C9	a) Bien b) Mal o NS/NC	15	50,0	20	66,7	2,90**				
	¿Se puede formar N ₂ O ₅ con cantidades iguales de N ₂ y O ₂ ?		b) Sí, si condiciones	8	28,6	24	85,7		Se calientan 2g de Zn y 1g de S ¿Y con 2g de Zn y 2g de S?	Ídem fase I		15	50,0	10	33,3					
			c) No, N ₂ O ₂ o NO	7	25,0	2	7,1													
			d) Sí, si no explotan	0	0,0	0	0,0													
			d) Otras o NS/NC	3	10,7	1	3,6													
	I-C4	F-C4	a) Bien b) Mal o NS/NC	8	28,6	11	47,8	2,92***												
Cuántos moles NH ₃ a partir de 12 mol de H ₂ según: N ₂ + 3H ₂ →2NH ₃		20		71,4	12	52,2														
	I-C5	F-C5	a) 100g ,la relación 1:1 b) Más de 100g, el metano... c) Menos de 100g , es gas. d) La suma inicial de C + H ₂ e) Otras o NS/NC	1	3,6	5	17,9	2,14**	I-C11	F-C10	Cuando... a) Obtengo 100g de metano b) Se gastan 100g C y 200 H c) Se gasta el carbono d) Ambos reactivos se agotan e) Otras o NS/NC	2	6,7	0	0,0	3,43***				
	La formación de metano C(s)+2H ₂ (g)→ CH ₄ (g) . .Si 100g de C reaccionan con exceso H ₂ ¿gramos de CH ₄ ?			6	21,4	15	53,6		La formación de metano: C(s)+2H ₂ (g)→ CH ₄ (g). .Si tengo de 100g de C reaccionan con un exceso de H ₂ , ¿cuándo concluye la reacción?	2		6,7	0	0,0						
				3	10,7	4	14,3			10		33,3	28	93,3						
				15	53,6	1	3,6			6		20,0	0	0,0						
		e) Otras o NS/NC	3	10,7	3	10,7											10	33,3	2	6,7
COMBUSTIÓN	I-C9	F-C10	a) Siempre agua y CO ₂	7	25,0	1	3,6	4,36***	I-C12	F-C11	a) Bien b) Mal o NS/NC	2	6,7	24	80,0	4,69***				
	Cuando algún combustible arde se produce:		b) Siempre agua	0	0,0	0	0,0		¿Puedes ver H ₂ O y/o/CO ₂ cuando se queman estas sustancias...?	Ídem faseI		28	93,3	6	20,0					
			c) Siempre CO ₂	10	35,7	0	0,0													
			d) Distintas sustancias	7	25,0	27	96,4													
			e) Otras o NS/NC	4	14,3	0	0,0													

TABLA 4.8 (3/4)

	TQ I							GEXP (28 alumnos)	Wilconxon	TQ II							GEXP (30 alumnos)	Wilconxon				
	INICIAL	FINAL								INICIAL	FINAL					INICIAL			FINAL			
			Nº	%	Nº	%	Nº					%	Nº	%	Nº					%		
ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO															I-C13	F-C12	a) Indica exotérmica y la explicación es correcta	13	43,3	24	80,0	1,53
															Qué tipo de reacción es la combustión?	La reacción de combustión ¿es siempre exotérmica?	b) Indica exotérmica pero mal explicación	0	0,0	0	0,0	
																	c) Endotérmica	8	26,7	4	13,3	
																	d) Mal o NS/NC	9	30,0	2	6,7	
	I-C10	F-C11	a) Si, elemento químico	9	32,1	1	3,6	4,00***	I-C14	F-C13	a) Considera balance	12	40,0	21	70,0	1,87***						
El O ₂ de la combustión ¿Posee E química asociada?		b) No, inorgánica	1	3,6	0	0,0	Al quemar carbón la E ¿de dónde proviene?.		Quemamos butano con O ₂ ¿papel del oxígeno?		b) Ruptura y formación enlaces, mal entendido	0	0,0	5	16,7							
		c) Si, tiene enlaces	6	21,4	27	96,4					c) Idea de almacén	9	30,0	1	3,3							
		d) No, no es combustible	6	21,4	0	0,0					d) E en iniciales o finales	1	3,3	0	0,0							
		e) Otras o NS/NC	6	21,4	0	0,0					e) Otra o NS/NC	8	26,7	3	10,0							
ENERGÍA, CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA	I-C12	F-C13	a) Tres	8	28,6	26	92,9	3,62***	I-C15	F-C14					14	46,7	24	80,0	1,59			
	Escribe tres palabras y frases relacionadas con la energía		b) Dos	8	28,6	1	3,6		Ídem fase I				8	26,7	4	13,3						
			c) Una	3	10,7	0	0,0						4	13,3	1	3,3						
			d) Cero	9	32,1	1	3,6						4	13,3	1	3,3						
	I-C13	F-C14	a) No, se degrada.	2	7,1	3	10,7	4,40***	I-C16	F-C15	a) No, se degrada.	8	26,7	0	0,0	3,08***						
	¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?		b) Sí, si no pierde calor.	5	17,9	1	3,6		Ídem fase I				b) Sí, no si desprende calor.	5	16,7		1	3,3				
			c) Unas si, otras no	6	21,4	2	7,1						c) No, solo las renovables	0	0,0		0	0,0				
			d) Sí, siempre	2	7,1	20	71,4						d) Sí, en cualquier proceso	5	16,7		25	83,3				
			e) No, se transforma.	3	10,7	1	3,6						e) No, porque se transforma.	9	30,0		1	3,3				
			f) No, hay consumo de E	4	14,3	0	0,0						Otras o NS/NC				3	10,0	3	10,0		
			g) Otras o NS/NC	6	21,4	1	3,6															
	I-C14	F-C15	a) Se va perdiendo	10	35,7	1	3,6	2,82**	I-C17	F-C16	a) Se va perdiendo	13	43,3	2	6,7	3,37***						
¿Qué quiere decir que la energía se degrada?		b) Pasa a E menos útil	6	21,4	12	42,9	Ídem fase I				b) Da E no deseables	6	20,0	22	73,3							
		c) Pasa a E contaminante	2	7,1	0	0					c) Obtienen E contaminantes	0	0,0	0	0,0							
		d) Pierde calidad, riqueza	7	25,0	15	53,6					d) Pierde riqueza	5	16,7	5	16,7							
		e) Otras o NS/NC	3	10,7	0	0,0					e) Otras o NS/NC	6	20,0	1	3,3							

TABLA 4.8. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL GEXP EN LAS PRUEBAS INICIAL Y FINAL SOBRE CONCEPTOS DE REACCIONES QUÍMICAS. En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que en el inicial (**p<0,001, *p<0,01*p<0,05).

A continuación se analizan detenidamente las contestaciones de los alumnos de los grupos experimentales. Dado que las producciones iniciales de éstos se han analizado en profundidad al estudiar la homogeneidad (apartado 4.1.2), las ejemplificaciones se centran en las respuestas dadas en el momento final y, para cada concepto, se presentan ejemplos del cambio en las contestaciones dadas por un mismo alumno al comienzo y al final de la investigación.

Bloque 1: Procesos físicos y químicos

Dentro del primer bloque, que engloba cuestiones sobre la identificación de procesos físicos y químicos, se hace patente que han cambiado las respuestas de los alumnos en ambas fases acerca de la reacción de combustión, cuestión C1. En los test iniciales se apreciaba una clara dispersión en las respuestas para ambos grupos apareciendo, entre las mayoritarias, la confusión con un cambio de estado y la transformación en calor, dando a éste entidad de sustancia, e incluso apareciendo en algún caso la idea de desaparición de la sustancia. Tan sólo un 20-29% contestaba correctamente pero dando explicaciones en general vagas o incorrectas. En el momento final las contestaciones correctas son las mayoritarias reconociendo que es una reacción química (97-100%) no limitándose, en general, a indicar que se trata de un cambio en la naturaleza de las sustancias sino realizando explicaciones completas:

“Se produce una combustión y en la combustión se forman los óxidos de la sustancia combustible, es decir, otras sustancias distintas” (GEXP-A2-FI-FIN).

“La combustión es un proceso químico por el cual cambia la naturaleza de los reactivos” (GEXP-A17-FII-FIN).

En el momento inicial de la investigación ningún alumno se refiere al papel del oxígeno en la reacción y el único que lo nombra no interpreta su función de forma correcta:

“Al quemarse el alcohol reacciona y se transforma en oxígeno y otras sustancias” (GEXP-A13-FI-FIN).

Tras el proceso de enseñanza-aprendizaje por indagación, veinte de los treinta alumnos de la fase II y veintiuno de los veintiocho de la fase I señalan el papel del oxígeno como reactivo, explicando la combustión como una oxidación y los productos como los óxidos generados en ella. Explican

que no se obtiene por tanto siempre dióxido de carbono y agua en las combustiones, sino los óxidos correspondientes a la reacción dada:

“Se transforma en los óxidos de los componentes que forman el alcohol” (GEXP-A8-FI-FIN).

“Se transforma en CO_2 y H_2O ya que el alcohol lleva en su estructura carbono e hidrógeno” (GEXP-A27-FI-FIN).

Incluso alguno señala la rapidez de la oxidación y otros desarrollan su explicación añadiendo la ecuación ajustada de la reacción:

“Se combina con el oxígeno, es decir, se producen los óxidos del alcohol, por tanto se da el dióxido de carbono y el agua: $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 4 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$ ” (GEXP-A21-FII-FIN).

Asumiendo los conceptos construidos a partir de la Unidad Didáctica llegan a explicar la reacción química como ruptura y formación de enlaces:

“Al producirse su combustión se rompen unos enlaces y se forman otros, formándose los óxidos de la sustancia combustible, el alcohol” (GEXP-A22-FI-FIN).

“Al reaccionar con el oxígeno, con la energía aplicada, se rompen los enlaces del alcohol y se forman unos nuevos (H_2O y CO_2)” (GEXP-A5-FII-FIN).

En el cuadro 4.5 se muestran ejemplos del cambio comparando cómo un mismo alumno contesta a la cuestión en el momento inicial y tras el proceso de enseñanza-aprendizaje.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C1 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C1 TEST FINAL
GEXP-A20 FI	“Cuando una sustancia se le aplica calor, a la vez de cambiar de estado (a vapor), se transforma en calor”.	“Se produce una combustión, que es una reacción química. Por tanto cuando hay una reacción química se altera la naturaleza de la sustancia y se forman otras nuevas”.
GEXP-A19 FI	“Al quemarlo, el alcohol se acerca a su punto de fusión hasta que se evapora”.	“Se transforma en los óxidos de los elementos que forman el alcohol”.
GEXP-A18 FII	“Cambia de estado, se transforma en calor y desaparece porque el fuego hace que el alcohol prenda y éste se transforma en calor y se consume con el tiempo”.	“Al reaccionar el oxígeno con el alcohol se produce una combustión y en esta combustión aparece CO_2 y H_2O ya que el alcohol tiene carbono y obtenemos CO_2 y H_2O ”.

CUADRO 4.5. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO EN LOS GEXP.

En la fase II se incluye la cuestión 2 que ahonda en las características de un cambio químico. Se observa como los alumnos del GEXP han

cambiado en sus respuestas. Inicialmente identifican de forma mayoritaria un cambio químico (60%) pero ninguno de ellos lo explica adecuadamente. El resto de los alumnos o no contestan (7%) o identifican procesos físicos (17%) como se advertía en la bibliografía estudiada sobre concepciones alternativas.

En el cuadro 4.6 se incluyen tres ejemplos de las contestaciones de los mismos alumnos en el test inicial y en el final.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C2 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C2 TEST FINAL
<i>GEXP-A3 FII</i>	<i>“Si, es reacción química porque ha cambiado la masa, parte de la sustancia debe haberse liberado en forma de gas”.</i>	<i>“Se ha producido una reacción química porque la sustancia original se divide generando 2 distintas, por un lado los vapores incoloros y por otro el líquido de aspecto metálico.”</i>
<i>GEXP-A21 FII</i>	<i>“Se une todo con el líquido y crece todo al unirse”.</i>	<i>“Reacción química porque se observan diferentes sustancias, un líquido de color amarillo-anaranjado y pasa a ser un líquido e aspecto metálico (plateado)”.</i>
<i>GEXP-A22 FII</i>	<i>“Es imposible que al calentar un líquido y volverse a enfriar haya más cantidad. Al calentar, gran parte se evapora (es decir, se pierde) y al enfriarse vuelve a ser líquido, pero en ningún caso habrá más densidad”.</i>	<i>“Se da una reacción química porque se aprecia que estamos pasando de una sustancia a otra, además, la primera era sólida y después es líquida”.</i>

CUADRO 4.6. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA EN EL GEXP-FII.

Bloque 2: Conservación de la masa

Las cuestiones sobre conservación de la masa son las C3 para ambas fases. Tienen enunciados diferentes pero son similares, ambas tratan la conservación en sistemas abiertos y los productos de la reacción son en ambas el resultado de la oxidación de un metal (magnesio o hierro) y en ambos casos aumenta la masa del producto final. La mayoría de los alumnos reconocen el aumento de masa por la reacción con el oxígeno:

“Aumenta porque es una combustión y el $Mg + O_2 \rightarrow MgO$. El Mg reacciona con el O_2 ” (GEXP-A12-FI-FIN).

En el momento final, un 68% de alumnos de la fase I y un 77% de la fase II interpretan correctamente la conservación de la masa en este sistema abierto, frente al 25% y 17% respectivamente en el momento inicial. Los estudiantes de la primera fase que contestan erróneamente y que vuelven a hacerlo, cambian en el tipo de error cometido. En un principio, en general, no interpretan el principio de conservación de la masa en sistemas abiertos, mientras que en el momento final la confusión principal es explicar lo sucedido como una mezcla en vez de una reacción química (18%), aunque algunos terminan por dar explicaciones en base a una reacción, lo que puede indicar una confusión en el léxico más que en el concepto de reacción química:

“No es un recipiente cerrado, así que se mezcla con el O_2 del aire porque es una combustión” (GEXP-A25-FI-FIN).

En la fase II la opción incorrecta mayoritaria es que pesará menos por perder gases en la combustión. En este momento final tan sólo un alumno del GEXP cree que la Ley de Lavoisier implica que la balanza queda equilibrada. En el cuadro 4.7 se ven ejemplos de contestaciones de los mismos alumnos en el test inicial y en el final.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C3 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C3 TEST FINAL
GEXP-A22 FI	<i>“El resultado es imposible, la suma de la masa de los reactivos debe ser igual a la suma de la masa de los productos, es decir, se conserva”.</i>	<i>“Al reaccionar con el oxígeno se forma óxido de magnesio y al pesarlo la segunda vez se está pesando también el oxígeno cosa que antes no se ha hecho”.</i>
GEXP-A3 FI	<i>“Si se ha hecho bien el experimento y no se ha dejado que ningún gas se escape, tiene que seguir pesando lo mismo que al principio porque se conserva la masa”.</i>	<i>“En la combustión entra también el oxígeno y se “mezcla” con el magnesio formando óxido de magnesio, que es el polvo blanco”.</i>
GEXP-A5 FII	<i>“No tiene porqué variar la masa. El oxígeno reacciona con el magnesio al estallar la llama pero eso no implica un aumento de masa”.</i>	<i>“Se ha formado óxido férrico, con el oxígeno, por tanto el peso del lado P es el del hierro inicial y el del O_2”.</i>
GEXP-A12 FII	<i>“No se pero por decir diría la c) porque la masa no puede aumentar pero sí disminuir (en este caso). Algo que pesa 6g por quemarlo yo creo que disminuiría”.</i>	<i>“Al quemarse se une con el O_2 y pesa más que el Fe”.</i>

CUADRO 4.7. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA EN LOS GEXP.

La cuestión adicional para la fase II, la cuestión C4, apoya estos resultados, pasando de un 17% de respuestas correctas a un 80%, en las que se vislumbra que entienden las reacciones de combustión además de comprender la conservación de la masa en sistemas abiertos y cerrados (ver cuadro 4.8).

ALUMNO	CONTESTACIÓN C4 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C4 TEST FINAL
<i>GEXP-A11 FII</i>	<i>“Creo que he oído que la masa se conserva y la a) que he dudado, el aire no puede aumentar tanto la masa”.</i>	<i>“Es una combustión, que necesita oxígeno y forma óxidos que pesarán más que la gasolina, pero sería igual al peso de la gasolina y el oxígeno si lo hubiesen medido”.</i>

CUADRO 4.8. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA EN EL GEXP-FII.

Bloque 3: Representaciones macroscópicas y microscópicas

Para las primeras cuestiones de la fase I, I-C7 y F-C8, en las que se solicita representar sustancias como el O_2 o el CO_2 , se observa como existe mejoría en las representaciones de los alumnos, aunque el cambio no puede considerarse significativo desde el punto de vista estadístico pues ya inicialmente, realizaban las representaciones de forma adecuada. Los conocimientos respecto a la representación microscópica de sustancias cotidianas (como son éstas) parecen estar adquiridos previamente quizá por ser las que suelen utilizar normalmente como ejemplos los profesores en clase. Sin embargo, se detecta un cambio importante (de un 20% hasta un 70%) para la fase II al enfrentarse, en la cuestión C5, a la clasificación de las sustancias de forma microscópica en vez de la visión macroscópica habitual. La tradición académica parece pues influir en sus contestaciones.

Para la fase II se presenta una pregunta adicional (I-C8/F-C7) que ayuda a confirmar este hecho. Los alumnos en el momento inicial identifican las representaciones más por el hecho de reconocer el agua que por la reacción en sí (el agua es una molécula representada habitualmente en las clases), según afirman en sus justificaciones. En el momento final el 83% reconoce no sólo la sustancia sino la relación entre el reactivo limitante y en exceso. En el cuadro 4.9 se muestra este tipo de evolución para un estudiante.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C8 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C7 TEST FINAL
GEXP-A11 FII	"Porque se que las moléculas de agua se disponen así: H-O-H".	"Porque reaccionan todos los Cl ₂ que es el reactivo limitante y está en exceso el H ₂ ".

CUADRO 4.9. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA REPRESENTACIÓN MICROSCÓPICA DE SUSTANCIAS EN EL GEXP.

Si se profundiza en las respuestas dadas para la obtención de cloruro de hidrógeno o de amoníaco (I-C8/F-C7 en fase I y I-C7/F-C6 en fase II), se encuentra que para ambas fases el cambio ha sido significativo. Se pasa de aproximadamente un 70% de fallos a tan sólo alrededor de un 20% en la fase I y un 3% en la II.

Dentro de las respuestas consideradas correctas se observa también un gran avance. En el momento inicial, ningún alumno de ninguna fase representa situaciones estequiometrías con múltiples moléculas ni con reactivo en exceso, lo dibujan con el número de moléculas representadas en los coeficientes dados, como se refleja en la bibliografía (Raviolo, 2005). Sin embargo, en el momento final más de la mitad de los estudiantes en la fase I dibujan situaciones con múltiples moléculas y con reactivo en exceso. En la fase II el número es mayor, de los 29 estudiantes, 21 dibujan un reactivo en exceso, uno dibuja múltiples relaciones pero sin exceso, y tan sólo siete lo dibujan atendiendo a los coeficientes. En las figuras 4.10 y 4.11 se exponen ejemplos de las representación de los alumnos antes y después del proceso de enseñanza-aprendizaje.

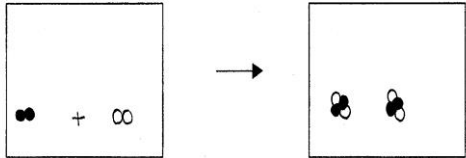
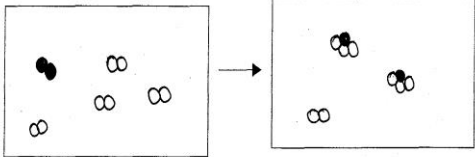
RESPUESTA INICIAL	RESPUESTA FINAL
ESTUDIANTE GEXP-A12-FI	
<p>8. Si representamos un átomo de cloro por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$  <p style="text-align: center;">$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad \quad \quad 2\text{HCl}(\text{g})$</p> <p>Porque el HCl se consigue uniendo los átomos de H y Cl. y $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{Cl}_2 = \text{HCl}$</p>	<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  <p style="text-align: center;">H_2 está en exceso</p> <p>Porque _____</p>

FIGURA 4.10. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA REPRESENTACIÓN MICROSCÓPICA DE REACCIONES QUÍMICAS EN EL ESTUDIANTE GEXP-A12-FI.

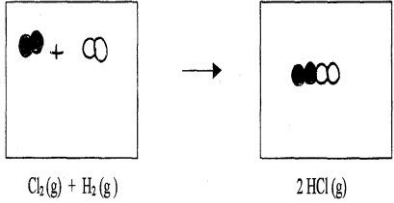
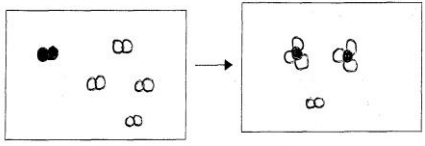
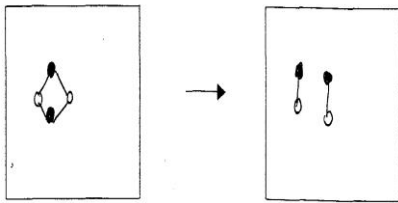
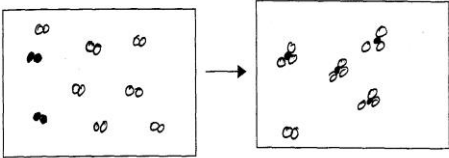
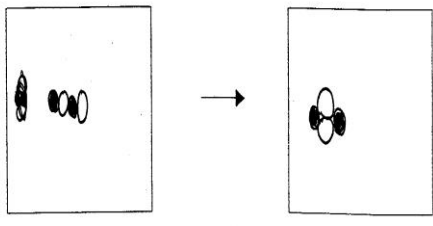
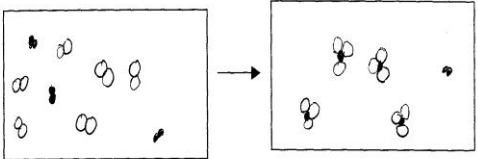
RESPUESTA INICIAL	RESPUESTA FINAL
ESTUDIANTE GEXP-A 27-FI	
<p>8. Si representamos un átomo de cloro por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$  <p>$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $2 \text{HCl}(\text{g})$</p> <p>Porque al sumar una molécula de cloro (2 átomos) con una de hidrógeno (2 átomos) el producto obtenido es la suma de esos átomos</p>	<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$  <p>Porque los coeficientes estequiométricos nos indican la proporción en que reaccionan los reactivos y los productos obtenidos. Pero podría haber un exceso en alguno de los reactivos que quedaría como exceso entre los productos.</p>
ESTUDIANTE GEXP-A5-FII	
<p>7. Si representamos un átomo de cloro por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$</p>  <p>$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $2 \text{HCl}(\text{g})$</p> <p>Porque la parte se rompen y se unen para formar otro elemento.</p>	<p>6. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$  <p>Explica tu representación: He dibujado dos cantidad de reactivos y de productos y la he puesto excedo de H2 ya que serviría que nos ayude la reacción en la realidad.</p>
ESTUDIANTE GEXP-A28-FII	
<p>7. Si representamos un átomo de cloro por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química: $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$</p>  <p>$\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ $2 \text{HCl}(\text{g})$</p> <p>Porque:</p>	<p>6. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$  <p>Explica tu representación: Hay exceso de N2</p>

FIGURA 4.11. EJEMPLOS DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA REPRESENTACIÓN MICROSCÓPICA DE REACCIONES QUÍMICAS EN LOS ESTUDIANTES GEXP-A27-FI, GEXP-A5-FII y GEXP-A28-FII.

Con las últimas cuestiones (I-C11/F-C12 para la fase I e I-C9/F-C8 para la fase II) se aborda el proceso inverso al de las cuestiones anteriores, tratar de identificar una reacción a partir de una representación dada.

En la fase I, en el momento inicial responden correctamente un 53% de los alumnos y un 79% al final del trabajo con la Unidad Didáctica. Aunque es un gran cambio no llega a ser estadísticamente significativo. En la fase II se propone la misma cuestión pero abierta, dejando que los alumnos identifiquen las especies e incluso la ajusten si lo consideran oportuno, y se pasa de tener un 10% de aciertos a más de un 87% que escriben la ecuación con el 67% de ellas ajustadas. Es destacable que inicialmente son mayoritarias las respuestas en las que el alumno escribe los coeficientes de la ecuación contando las moléculas, asignando incluso al exceso un lugar en la ecuación química, lo que indica la poca comprensión del significado de los coeficientes y de la ecuación en sí. Incluso un 20% no reconoce las moléculas dadas. En el momento final, todos los alumnos reconocen las sustancias presentes y tan sólo un 7% considera el reactivo en exceso y lo ponen en el segundo miembro de la ecuación.

Bloque 4: Relaciones estequiométricas. Reactivo limitante

En el momento inicial los componentes de los GEXP acusan una falta de comprensión del significado de una ecuación química. No sólo no interpretan adecuadamente los coeficientes sino que demuestran no entender el concepto de reactivo limitante ni en exceso. Aplican, en general, incorrectamente, la ley de conservación de la masa, considerando que todas las cantidades iniciales de compuestos deben transformarse en cantidad total de productos, no reconociendo la existencia de reactivos en exceso ni siquiera cuando se les comunica explícitamente este hecho en el enunciado de la cuestión.

En el momento final, se constata cómo los alumnos de los grupos experimentales mayoritariamente interpretan correctamente el significado de los subíndices de una fórmula y la relación entre las cantidades de reactivos y productos en una ecuación química. Así, en las primeras cuestiones (I-C2/F-C2 de la fase I e I-C10/F-C9 de la fase II) se pasa de tener mayoritariamente respuestas erróneas sobre el significado de una fórmula química (solo contestan correctamente un 29% y un 50% y sin explicaciones adecuadas), a comprenderlo adecuadamente (67% y 87%). No sólo

reconocen que se puede formar un compuesto como el N_2O_5 pues una fórmula no indica una sola molécula sino que justifican su respuesta con explicaciones completas, con proporciones entre los átomos e incluyendo conceptos como la masa molar y el reactivo limitante y en exceso:

“Los átomos de N y O pueden formar N_2O_5 en una determinada proporción si en verdad el N_2 y el O_2 pueden formar N_2O_5 juntándose, por lo tanto siempre se forma N_2O_5 aunque sobre (o no) de un determinado elemento” (GEXP-A1-FI-FIN).

“Se puede formar aunque la cantidad depende del reactivo limitante” (GEXP-A9-FII-FIN).

Algunos señalan incluso la idea de ruptura y formación de enlaces en la reacción:

“Los enlaces se pueden romper para formar otros nuevos y sólo cuando se acabe uno de los elementos no podrá formarse” (GEXP-A10-FII-FIN).

Un ejemplo de la variación en sus respuestas se presenta en el cuadro 4.10, para el alumno A-17 de la fase I, aunque comete un error al hablar de “número de moles” y no de cantidad de sustancia, fallo muy extendido.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C2 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C2 TEST FINAL
GEXP-A17 FI	<i>“No, necesito más oxígeno porque si no no se cumpliría la ley de las proporciones definidas”.</i>	<i>“Sí, la estequiometría viene dada en moles o en número de átomos pero como la M de los reactivos es diferente, el n° de moles es diferente y se podrá llegar a dar”.</i>

CUADRO 4.10. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE REACTIVO LIMITANTE EN EL GEXP-FI.

A continuación se analizan las preguntas específicas de reactivo limitante y en exceso (I-C5/F-C5 en la fase I y I-C11/F-C10 en la fase II).

En la fase I, en el momento inicial, los alumnos consideran mayoritariamente que debe sumarse la masa inicial de todos los reactivos y esa debe ser la cantidad de los productos finales, no reconociendo ningún exceso. Además, justifican científicamente sus respuestas en base a una mala interpretación de la ley de conservación de la masa y proporciones definidas (46% y 28% respectivamente).

En el momento final, no sólo reconocen el significado de una ecuación química y el concepto de reactivo limitante sino que sus respuestas son completas, utilizando en un 32% el concepto de masa molar y realizando, en

muchos casos, una explicación más o menos amplia de posibles estrategias de resolución, lo que muestra la influencia de la metodología de resolución de problemas seguida:

“El metano tiene mayor masa molar y los gramos se calculan por $m=n \cdot M$, entonces aunque los moles sean los mismos, m no porque M es distinta” (GEXP-A12-FI-FIN).

Un ejemplo de cómo varían sus respuestas se muestra en el cuadro 4.11.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C5 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C5 TEST FINAL
GEXP-A1 FI	<i>“La suma de las masas iniciales porque la masa de los reactivos siempre ha de ser igual a la de los productos”.</i>	<i>“Más porque la relación entre el C y el CH_4 es 1:1 de ahí se obtiene la misma cantidad de moles de CH_4 que moles tengo de C y al pasar moles de CH_4 a masa se obtiene mayor cantidad de gramos”.</i>

CUADRO 4.11. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE REACTIVO LIMITANTE EN EL GEXP-FI.

Es curioso observar que, aunque de forma minoritaria, algunos alumnos (aproximadamente un 10%) continúan pensando que deberá pesar menos por ser un gas. Eso refleja lo persistente de esta concepción alternativa:

“Menos, el metano es gaseoso pero el C es sólido” (GEXP-A6-FI-FIN).

“Al ser el metano gaseoso pesa menos” (GEXP-A24-FI-FIN).

Para la fase II en la pregunta inicial, C-11, se especifica que algún reactivo se “gastaba”. Aunque el porcentaje de respuestas correctas es algo mayor que en la fase I (supuestamente por la introducción de la palabra “se gasta, se agota”), sólo un 33% de alumnos contesta bien. En ese momento ningún alumno de los que contesta correctamente señala nada acerca de reactivos limitantes o en exceso, sólo que si se gasta no se podrá seguir. La palabra “gasto” parece clave. La otra opción que indica “ambos reactivos se agotan” tiene el mismo porcentaje. También llama la atención que algún estudiante sólo considera al carbono como reactivo olvidándose del hidrógeno:

“Hasta que se gasta el carbono porque es el reactivo” (GEXP-A10-FII-INI).

Sin embargo, al final del proceso de enseñanza-aprendizaje, el 93% del alumnado señala la respuesta correcta, con explicaciones completas, y el 80% explicitan el concepto de reactivo limitante y/o en exceso. Una ejemplificación del cambio ocurrido se recoge en el cuadro 4.12.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C11 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C11 TEST FINAL
GEXP-A7 FII	"Se gastan 100g de C y 200 de H porque para que reaccione el metano se necesitan 2 moléculas de H_2 por cada una de C"	"Se gasta el C, es el reactivo limitante, es decir, cuando éste se agota ya no hay más carbono para reaccionar con el hidrógeno que está en exceso"

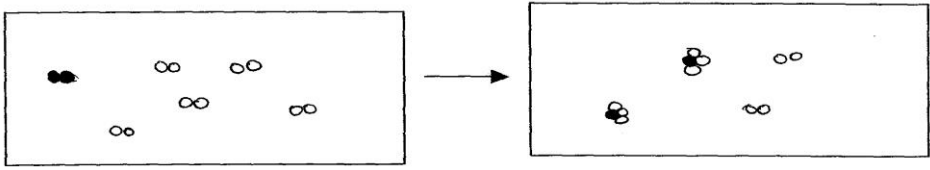
CUADRO 4.12. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE REACTIVO LIMITANTE EN EL GEXP-FII.

Incluso estos resultados apoyan las conclusiones vistas sobre el cambio significativo en los conceptos de reactivo limitante y en exceso en los GEXP, pues se observa en las preguntas de representaciones microscópicas de las reacciones que las respuestas de los alumnos consideran dichos conceptos. Por ejemplo, en la selección de la respuesta en la C7 FII, se dice que:

"Reaccionan todos los Cl_2 que es el reactivo limitante y está el exceso de H_2 " (GEXP-A11-FII-FIN).

Muchos dibujos finales de la reacción de formación de amoníaco (cuestiones C6-F2 y C8-F1) apoyan esta afirmación, como se indicó en el bloque 3 de este apartado (ver figura 4.12).

6. Si representamos un átomo de nitrógeno ● por y uno de hidrógeno por ○
Representa gráficamente la siguiente reacción química:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$$


Explica tu representación:

He representado un exceso de H_2 por lo que el N_2 es el reactivo limitante.

FIGURA 4.12. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA REPRESENTACIÓN MICROSCÓPICA DE REACCIONES QUÍMICAS DEL ESTUDIANTE GEXP-A18-FII.

Bloque 5: Combustión

Diversos aspectos de la combustión se han analizado ya en otras preguntas como la C1 sobre el cambio químico. En las preguntas específicas sobre los reactivos y productos de esta reacción (I-C9/F-C10 en fase I e I-C12/F-C11 en fase II), inicialmente la respuesta más habitual es que se produce siempre CO_2 , siendo también muy elevada la opción de que siempre se forma CO_2 y H_2O . En la fase II relacionan la obtención de agua con la existencia de ésta en la sustancia, considerando pues una liberación de agua estructural en vez de como consecuencia de una reacción química. Inicialmente relacionan la obtención de CO_2 con la visión de humo, en general negro o a un producto contaminante. Sólo un alumno en la fase II habla, en ese momento, de la necesidad de disponer de C e H en la sustancia que se quema y lo hace sólo en relación al papel y al carbón, en el resto de sustancias no reconoce que pueda suceder.

Por el contrario, en el momento final ningún alumno de ninguna fase contesta que siempre se forme agua o siempre dióxido de carbono. La opción de que siempre se formen ambos está entre el 4 y 17% y la mayoría de los alumnos de ambas fases contesta bien (96% y 80%), no limitándose a indicar que los productos formados dependen de la composición de las sustancias iniciales sino analizando los elementos constituyentes de éstas y/o explicando la formación de los óxidos correspondientes.

Un ejemplo de cómo varían sus respuestas se muestra en el cuadro 4.13.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C9 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C10 TEST FINAL
GEXP-A6 FI	<i>“Una combustión es una reacción química en la que los materiales se transforman en otros dando lugar a la liberación de CO_2”.</i>	<i>“No sólo se formará H_2O y CO_2. Si el combustible tiene C e H sí tiene por ejemplo $\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow$ óxido de magnesio”.</i>

CUADRO 4.13. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE COMBUSTIÓN EN EL GEXP-FI

Algún alumno que en el primer momento intenta explicarlo por propia experiencia (atendiendo a su visión macroscópica de las reacciones) tras el proceso de enseñanza-aprendizaje comprende la relación que existe entre la composición química de los reactivos y la obtención de ciertos compuestos en la combustión (ver cuadro 4.14).

ALUMNO	CONTESTACIÓN C12 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C11 TEST FINAL
<i>GEXP-A14 FII</i>	<i>“Al quemar papel no se desprende agua porque cuando he quemado papel no sale agua. En el Fe no porque el hierro no se compone por agua. En el alcohol sí en forma de vapor de agua. El CO₂ no se pero en hierro creo que no, sólo se pone al rojo vivo”.</i>	<i>“Se oxidan los componentes del combustible y si está formado por C e H se formará dióxido de carbono y agua pero si no tiene ninguno de esos componentes formarán otros óxidos”.</i>

CUADRO 4.14. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE COMBUSTIÓN EN EL GEXP-FII.

Además, al final del proceso algunos tienen en cuenta que se pueden producir reacciones de combustión incompletas, con la posibilidad de formar CO, lo que indica la amplitud de su visión en ese momento.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C12 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C11 TEST FINAL
<i>GEXP-A22 FII</i>	<i>“Al quemar papel no se desprende agua porque está en estado sólido, no contiene agua (igual en carbón hierro y azufre), en alcohol sí porque es un líquido y contiene agua (se evapora) y sí butano porque se ve agua al calentarse. El CO₂ en al alcohol no se produce en los demás no se si se produce”.</i>	<i>“Depende de las sustancias de los reactivos, si hay C y H se producirá H₂O y CO₂. o CO , sino se producirá un óxido de.... Por ejemplo Fe+ O₂→FeO,óxido de hierro”.</i>

CUADRO 4.15. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE COMBUSTIÓN EN EL GEXP-FII.

Al comienzo de la fase I, tan sólo dos de los siete alumnos que contestan bien lo hacen con razonamientos adecuados y el resto, aunque identifican la posibilidad de que se formen diversas sustancias, indican que siempre se debe formar agua y no siempre CO₂ o viceversa.

En el cuadro 4.16 se ejemplifica el cambio producido en alumnos que inicialmente eligen la opción correcta pero erróneamente explicada y al final del proceso de enseñanza-aprendizaje lo hacen correctamente.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C9 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C10 TEST FINAL
<i>GEXP-A2 FI</i>	<i>“Reacciona con el agua y con el CO₂ pero no se convierte en ellos”.</i>	<i>“Se producen los óxidos del combustible”.</i>
<i>GEXP-A25 FI</i>	<i>“Creo que cada combustible estará formado por distintas sustancias no sólo por H₂O y CO₂”.</i>	<i>“Depende de las sustancias que tenga el combustible, si tiene carbono pues saldrá ese pero no tiene porqué”.</i>
<i>GEXP-A2 FI</i>	<i>“Cada combustible tiene unas propiedades físicas y químicas distintas y en su combustión expulsa unas sustancias u otras”.</i>	<i>“Las sustancias que tengan como productos serán los óxidos de cada uno de los elementos químicos presentes en las sustancias combustible. Si no hay C e H no se producirá CO₂ y H₂O”.</i>

CUADRO 4.16. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE COMBUSTIÓN EN EL GEXP-FI.

Bloque 6: Energía de enlace. Balance energético

En cuanto a las cuestiones relacionadas con la energía química (I-C10 y F-C11 para fase I) se observa una evolución estadísticamente significativa en las respuestas.

En el momento inicial existe una gran dispersión en las respuestas. Sólo un 21% de alumnos asocian correctamente la idea de energía química al enlace químico pero sus explicaciones no son claras. En general, consideran más bien una liberación de energía acumulada principalmente en el combustible.

En el momento final, todos los alumnos asumen la relación de la energía liberada en el proceso con enlaces en las moléculas no obstante las palabras como acumula, encierra, o almacena que señaladas en la bibliografía, siguen apareciendo en alguna de sus respuestas (Ross, 1991). Un 14% (4 de los 28 alumnos) lo continúan señalando aunque el matiz es que ya no lo hacen como un almacén en la molécula, en el combustible como un todo, sino en relación al valor de la energía de enlace. Parece pues que la palabra “almacén” es difícil de sustituir cuando se refieren a la energía química:

“Sí, todos los cuerpos almacenan energía en sus enlaces” (GEXP-A2-FI-INI).

El resto de los alumnos asocia la energía a los enlaces sin mencionar el almacenamiento, llegando a mencionar la entalpía de enlace con la que

han trabajado, pero se echa en falta que señalen el balance energético o que esa energía está asociada a una reacción:

“Tiene un enlace doble $O=O$ y su entalpía de enlace tiene un valor de energía” (GEXP-A1-FII-III).

A continuación, en el cuadro 4.17, recoge un ejemplo del cambio en su respuesta:

ALUMNO	CONTESTACIÓN C10 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C11 TEST FINAL
GEXP-A1 FI	<i>“El oxígeno no posee energía química porque el O_2 es el que desencadena que el combustible que quemamos libere su energía”.</i>	<i>“La energía se encuentra en los enlaces y el O_2 es una molécula, $O=O$, por tanto tiene energía química”.</i>

CUADRO 4.17. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE ENERGÍA DE ENLACE EN EL GEXP-FI.

Para comparar los resultados en la fase II entre el momento inicial y final, se utilizan dos cuestiones con opciones diferentes, I-C14 y F-C13. Para facilitar el análisis se abren nuevos apartados que engloben a los conceptos que aparecen en ambas y que se mostraban en la tabla 4.8 (pp. 229-232). En el momento inicial la contestación correcta sobre el balance energético la escogen un 43% de los alumnos pero solo tienen en cuenta ruptura de enlaces y la liberación de energía y no consideran, en ningún caso, la energía asociada a la formación de enlaces en los productos. En el momento final pueden elegir, entre todas las opciones, dos relativas al balance energético (a y b) cuyo enunciado y contenido son muy diferentes y que se recuerdan a continuación:

- La primera, correcta, considera *“el balance energético entre la ruptura de enlaces (necesidad de energía) + formación de enlaces (estabilización, desprendimiento de energía)”.*

- La segunda, errónea, lo contempla al contrario *“el balance energético entre la ruptura de enlaces (desprendimiento de energía) + formación de enlaces (aporte de energía)”.*

Aún dando por válidas para el momento inicial todas las opciones de balance (por no ofrecerse la opción segunda) se obtienen datos de cambios estadísticamente significativo. Es más, en el momento inicial todos los alumnos hablaban de rotura como la que generaba la energía y en este

momento no sólo entienden el balance energético sino que la ruptura es la que requiere energía y en la formación se desprende por llegar a situaciones de mayor estabilidad. La concepción errónea de considerar las moléculas como almacén (Ross, 1991) que era muy elegida inicialmente (32%) pasa a ser minoritaria (un 3%). Algunos ejemplos del cambio en sus contestaciones se presentan en el cuadro 4.18.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C14 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C13 TEST FINAL
<i>GEXP-A10 FII</i>	<i>“La energía que se desprende esta almacenada en el carbón porque al quemarlo se desprende la energía calorífica”.</i>	<i>“Balance entre ruptura y formación de enlaces...porque la energía se forma en la unión de los enlaces requiriéndose para romper enlaces”.</i>
<i>GEXP-A25 FII</i>	<i>“Eso es mucha energía acumulada (por ejemplo la energía nuclear se basa en eso)”.</i>	<i>“Balance entre ruptura y formación de enlaces...porque al formar enlaces siempre se desprende ya que es más estable y al romper se cede energía de enlace”.</i>

CUADRO 4.18. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE ENERGÍA ASOCIADA A LAS REACCIONES QUÍMICAS EN EL GEXP-FII.

En la fase II se añade, además, otra cuestión I-C13/F-C12 sobre las definiciones de reacciones endotérmicas y exotérmicas. Aunque la proporción del cambio es abultada, duplicando la proporción de respuestas correctas (pasa de un 43% a un 80%), no es estadísticamente significativo, quizá porque las respuestas iniciales eran ya aceptables, pues son definiciones aprendidas de forma general en el ámbito académico. Sin embargo, si se ahonda en las respuestas, se observan cambios interesantes.

El número de alumnos que optan por la concepción reflejada en la bibliografía de que las combustiones son endotérmicas por necesitar el aporte inicial de la llama (Boo, 1998) disminuye considerablemente (pasa de un 27% a un 13%). Además, señalan que son oxidaciones rápidas y exotérmicas, hablan de balances energéticos, de relación de estabilidad entre las moléculas iniciales y finales y hasta de entalpía de la reacción:

“Si siempre, $\Delta H < 0$, son exotérmicas y por tanto desprenden energía” (GEXP-A21-FII-FIN).

De nuevo aparece la idea de que es en la formación donde se desprende la energía. Incluso algún estudiante indica que la transformación en calor es una degradación energética no una pérdida de tal. Todos los

alumnos excepto uno que utilizan la expresión “pierde energía” ya hacen referencia a la energía del sistema dado.

“El sistema pierde energía ya que está formando enlaces” (GEXP-A15-FII-FIN).

Ejemplos de la variación de las respuestas aparecen en el cuadro 4.19.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C13 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C12 TEST FINAL
GEXP-A22 FII	“Endotérmica, se necesita energía térmica para producir dicha combustión”.	“Exotémica siempre porque ΔH es siempre menor en los productos que en los reactivos es decir desprende energía (se degrada no se pierde)”.
GEXP-A4 FII	“Ambas, endotérmica y exotérmica, pues primero necesito una fuente de calor y luego se desprende mucho calor”.	“Exotémica siempre porque la combustión es una oxidación rápida y exotérmica”.
GEXP-A29 FII	“Endotérmica, un elemento que combustiona necesita un aporte de energía (el calor) para que se produzca la reacción”.	“Son siempre exotérmicas porque ΔH es negativo y se pasa de unas moléculas de más energía a unas con menos y se desprende energía”.

CUADRO 4.19. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE REACCIÓN ENDOTÉRMICA Y EXOTÉRMICA EN EL GEXP-FII.

Por otra parte, algunos de los estudiantes que no eligen ninguna opción, sino otras, explican su respuesta de forma que parecen entender el concepto aunque contestan que necesitan saber los valores de energía de enlace de los compuestos y el balance final para contestar, como si no se pudiese dar una norma general:

“Hay que analizar la rotura de enlaces para observar cuál es uno u otro” (GEXP-A10-FII-FIN).

Bloque 7: Energía, conservación y degradación de la energía

En la pregunta de asociación de ideas (I-C12 y F-C13 para la fase I e I-C15 y F-C14 para la fase II) se observa como los alumnos han evolucionado de forma estadísticamente significativa en la fase I pero en la fase II no aunque, los alumnos que completan las cuatro frases de forma correcta pasan de un 47 a un 80%. Se han contabilizado las frases correctas con las palabras que ellos habían escogido pues no se puede considerar o priorizar unas palabras o conceptos sobre otros pero, si se puede hacer una serie de reflexiones al analizar las respuestas de los grupos en ambos momentos.

La mayoría de las palabras que proponen en la fase inicial están relacionadas con dos tipos de energías conocidas, la energía solar y la eólica, o las relacionadas con contextos académicos como conservar o degradar. Las frases son mayoritariamente de dos tipos: muy sencillas y en general cortas (a veces casi infantiles) o que reproducen definiciones vistas en clase (como la de la energía cinética o potencial). Las escasas referencias a palabras relacionadas con la Química se limitan a la combustión y de una manera simple:

“La combustión es una forma de energía” (GEXP-A4-FI-FIN).

“Si se desprende energía también se desprende calor” (GEXP-A11-FII-FIN).

Tras la investigación se relaciona con el desprendimiento energético de forma más científica:

“Una combustión es una reacción química de oxidación en la que se libera energía en forma de calor” (GEXP-6-FII-FIN).

“En el proceso de combustión se desprende energía” (GEXP-A2-FI-FIN).

En el momento final aparecen además de estas palabras otras como entalpía, enlace, biomasa, etc., lo que indica la clara influencia del contexto académico. Las frases son ahora más elaboradas y en algún caso introducen sus propias valoraciones:

“España, al ser un país con tantas horas de luz, podría utilizar la energía solar como energía renovable” (GEXP-A16-FI-FIN).

“La energía química de una molécula depende del número de enlaces que contenga” (GEXP-A20-FI-FIN).

En el cuadro 4.20 se recogen ejemplos de la evolución de las respuestas sobre la energía.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C12 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C13 TEST FINAL
<i>GEXP-A15 FI</i>	<i>“Gracias a la energía eléctrica nosotros tenemos luz”.</i>	<i>“Se está investigando sobre la utilización de energías renovables que no sean perjudiciales ni para el medioambiente ni para la salud”.</i>
ALUMNO	CONTESTACIÓN C15 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C14 TEST FINAL
<i>GEXP-A1 FII</i>	<i>“La energía que se produce con viento”.</i>	<i>“La energía eólica es la más utilizada en España. Navarra es la que tiene los mayores campos eólicos”.</i>
<i>GEXP-A19 FII</i>	<i>“La energía cinética está relacionada con el movimiento”.</i>	<i>“La cantidad de energía es constante pero hay un porcentaje que se convierte en energía menos útil, se degrada”.</i>

CUADRO 4.20. EJEMPLOS DE CAMBIOS OCURRIDOS A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA ASOCIACIÓN DE IDEAS CON LA ENERGÍA EN LOS GEXP.

Las dos últimas cuestiones exploradas se refieren a la conservación y degradación de la energía (I-C13, I-C14 y F-C14, F-C15 para la fase I e I-C16, I-C17 y F-C15 y F-C16 para la fase II). Ambas cuestiones muestran gran dispersión en las respuestas en el momento inicial, en ambas fases, lo que indica la dificultad de comprensión de éstos conceptos. A continuación se analizan los dos conceptos implicados.

En lo concerniente a la conservación de la energía, en el momento inicial abundan las respuestas que se refieren a su no conservación por pérdida o destrucción. En el momento final, los alumnos rara vez hablan de pérdidas e incluso el único que lo hace lo entrecorilla para indicar que sabe que esa palabra no es la correcta (ver cuadro 4.21).

ALUMNO	CONTESTACIÓN C10 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C11 TEST FINAL
<i>GEXP-A8 FI</i>	<i>“Unas sí y otras no se conservan: Hay energías que se pueden gastar como el petróleo y otras no como la energía solar”.</i>	<i>“Se conserva siempre: aunque haya “pérdidas” que es que la energía que no se utiliza o se degrada se conserva toda la energía”.</i>

CUADRO 4.21. EJEMPLO DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN A LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL GEXP-FI.

Algunos tienen tan claro que la respuesta “perder” suele ser la habitual que explican la confusión:

“Se conserva siempre: aunque digamos que se pierde es porque es energía calorífica que no aprovechamos” (GEXP-A23-FII-FIN).

El cuadro 4.22 recoge ejemplos de la variación en sus respuestas:

ALUMNO	CONTESTACIÓN C13 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C14 TEST FINAL
<i>GEXP-A4 FI</i>	<i>“Si, si no pierde calor: El calor perdido ya no se puede recuperar”.</i>	<i>“Si, siempre: si juntamos todo lo que se libera en cualquier proceso la energía final sería igual a la suma de todas las anteriores”.</i>
ALUMNO	CONTESTACIÓN C16 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C15 TEST FINAL
<i>GEXP-A22 FII</i>	<i>“Siempre se pierde”.</i>	<i>“Se conserva siempre: La energía nunca se pierde sino que se degrada a formas menos útiles”.</i>

CUADRO 4.22. EJEMPLOS DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN LOS GEXP.

Para el concepto de degradación de la energía ocurre lo mismo. Se pasa de tener, inicialmente una gran dispersión de respuestas (mayoritariamente aparece la idea errónea de pérdida) a tener, al final, una mayoría de respuestas correctas que señalan su transformación en energías no deseables (ya se señalaba en las respuestas del cuadro 4.22). Sin embargo, en la primera fase, aún una mayoría de alumnos asocia la palabra calidad con energía deseada, por lo que responden la opción incorrecta d) aunque en sus explicaciones lo justifican correctamente de forma mayoritaria. Además, ya no aparece la relación directa con el desprendimiento de materia ni la asociación con elementos contaminantes (presente en el momento inicial). En el cuadro 4.23 se muestran algunos ejemplos del cambio producido en los alumnos.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C14 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C15 TEST FINAL
<i>GEXP-A13 FI</i>	<i>“Va perdiendo en las sucesivas transformaciones los elementos de ella que nos interesa”.</i>	<i>“Pasa a energías menos útiles porque al producir electricidad también producimos calor que no nos interesa y por ello no la utilizamos”.</i>
<i>GEXP-A19 FI</i>	<i>“Se transforma en otras sustancias como gases que no podemos aprovechar”.</i>	<i>“Pasa a energías menos útiles porque se transforma en energía térmica que no podemos aprovechar”.</i>
ALUMNO	CONTESTACIÓN C17 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C16 TEST FINAL
<i>GEXP-A21 FII</i>	<i>“Se va perdiendo: Se pierde siempre, siempre se trata de conservar la mayor cantidad posible”.</i>	<i>“A energías no deseable, generalmente se genera calor y no se puede utilizar en la mayoría de los casos”.</i>
<i>GEXP-A29 FII</i>	<i>“Al degradarse la calidad disminuye, con lo cual se pierde energía”.</i>	<i>“Se convierte en energías tipo calor por el rozamiento que no van a ser útiles”.</i>

CUADRO 4.23. EJEMPLOS DEL CAMBIO OCURRIDO A LO LARGO DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA EN LOS GEXP.

A la vista de los datos analizados se puede considerar que:

Las diferencias estadísticamente significativas indican que se ha producido un cambio conceptual sobre reacciones químicas en los estudiantes del GEXP como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI, en ambas fases de la investigación, en todos los conceptos estudiados excepto en dos de los tres sobre representaciones microscópicas en la fase I y, sobre aspectos energéticos de la combustión y verbalización de contenidos relacionados con la energía para la fase II.

4.4.2 CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 3.2 RELATIVA A LA COMPARACIÓN DEL CAMBIO CONCEPTUAL DE LOS GEXP Y GCON SOBRE REACCIONES QUÍMICAS

Con esta finalidad se comparan las pruebas finales de contenidos de química (TQ_{FIN}) realizadas por los alumnos de los grupos experimental y control.

Los resultados aparecen en la tabla 4.9. Se analizan utilizando el test de la U de Mann-Whitney para detectar las diferencias finales entre ambos grupos. Se escoge este estadístico para demostrar no sólo que existen diferencias significativas entre ambos grupos, sino que esta diferencia es a favor del GEXP. La hipótesis nula del estadístico es que los grupos son estadísticamente homogéneos en sus respuestas frente a la hipótesis alternativa de que las aportadas por el GEXP son significativamente mejores.

		TQ_{FIN} I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	TQ_{FIN} II		GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	Nº	%	
PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO	1. ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?	a) Cambia de estado b) Se transforma en calor c) En otras sustancias d) Desaparece e) Otras o NS/NC	0 0 28 0 0	0,0 0,0 100,0 0,0 0,0	8 6 3 3 3	34,8 26,1 13,0 13,0 13,0		39,5***	1. Ídem	Ídem	0 0 29 0 1	0,0 0,0 96,7 0,0 3,3	3 18 11 5 2	7,7 46,2 28,2 12,8 5,1	32,5***
									2. Se calienta un tubo con sólido amarillo y se observa vapores incoloros y liquido plateado ¿Qué ha ocurrido?	a) R. Química, explica bien b) R. Química, explicación incompleta c) R. Química explicación mal d) Indica proceso fisico e) Otras o NS/NC	12 9 0 6 3	40,0 30,0 0,0 20,0 10,0	9 5 3 10 12	23,1 12,8 7,7 25,6 30,8	388,5***
CONSERVACIÓN DE LA MASA	3. Se calientan 6g de Mg hasta que se forma un polvo blanco. Se observa m= 10g. ¿Por qué la m ha aumentado?	a) Oxígeno mezclado b) Mg se expande c) Imposible, m se conserva d) Mg reacciona con O₂ e) Mg gana calor f) Otras o NS/NC	5 0 3 19 1 0	17,9 0,0 10,7 67,9 3,9 0,0	4 0 7 10 1 1	17,4 0,0 30,4 43,5 4,3 4,3		252,0	3. Se coloca estropajo de hierro en un plato Q de una balanza, se equilibra. Se quema y se vuelve a pesar ¿qué ocurre en la balanza?	a) Se inclina hacia lado P b) Se inclina hacia lado Q c) Se quedan equilibrados d) No tengo datos suficientes e) Otras o NS/NC	23 4 3 0 0	76,7 13,3 10, 0,0 0,0	8 14 16 1 0	20,5 35,9 41,0 2,6 0,0	242,0***
									4. Un coche con 50kg de gasolina, tras vaciarlo ¿masa de los gases del tubo de escape?	a) Más de 50 kg b) 50 kg c) Menos de 50 kg d) No tengo información e) Otras o NS/NC	24 5 1 0 0	80,0 16,7 3,3 0,0 0,0	4 25 4 4 2	10,3 64,1 10,3 10,3 5,1	161,5***

TABLA 4.9 (1/4)

		TQ_{FIN I}		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	TQ_{FIN II}		GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		N°	%	N°	%	N°	%		N°	%	N°	%	N°	%	
REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	6. Representa un recipiente lleno de CO ₂	1. Bien 2. Mal o NS/NC	26 2	92,6 7,1	14 9	60,7 39,1		212,0***	5. Identificación de diagramas de elemento, compuesto y mezcla	a) Identifican los 4 b) Identifican 3 c) Identifican 2 d) Identifican 1	21 7 1 1	70,0 23,3 3,3 3,3	17 8 8 6	43,6 20,5 20,5 15,4	390,5***
	7. Representa: N ₂ (g)+3H ₂ (g)→2NH ₃ (g)	a) Bien, múltiple y con exceso b) Bien múltiple c) Bien, según coeficientes d) Mal estequiometría e) Mal moléculas, etc. o NS/NC	9 3 10 5 1	32,1 10,7 35,7 17,6 3,6	0 1 10 1 11	0,0 4,3 43,5 4,3 47,8		136,5***	6. Ídem	a) Bien, múltiple y con exceso b) Bien múltiple c) Bien, según coeficientes d) Mal estequiometría e) Mal moléculas, etc. o NS/NC	21 1 7 0 1	70,0 3,3 23,3 0,0 3,3	0 0 20 8 11	0,0 0,0 51,3 20,5 28,2	109,0***
	8. Juntamos el Cl ₂ y H ₂ de dos matraces en uno para producir HCl. ¿Qué matraz lo representa?	a) Matraz 1 (mezcla) b) Matraz 2 (sin exceso) c) Matraz 3 (mal sustancias) d) Matraz 4 (con exceso) e) NS/NC	3 4 0 21 0	10,7 14,3 0,0 75,0 0,0	2 6 7 8 0	8,7 26,1 30,4 34,8 0,0		194,0***	7. Ídem(pero cambian opciones de respuesta)	a) Matraz 1 (solo coeficientes) b) Matraz 2 (mezcla) c) Matraz 3 (sin exceso) d) Matraz 4 (mal sustancias) e) Matraz 5 (con exceso) f) NS/NC	1 0 1 3 25 0	3,3 0,0 3,3 10,0 83,3 0,0	1 13 5 8 11 1	2,6 33,3 12,8 20,5 28,2 2,6	230.5***
	12. Observa los gráficos y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.	a) X+2Y→ Y ₂ X b) X₂ +Y→ XY₂ y b) ajustada c) 2X +1/2Y ₂ →YX ₂ d) X+Y→ YX e) 2X+Y ₂ → Y ₂ X + X f) Otras o NS/NC	2 22 0 0 2 2	7,1 78,6 0,0 0,0 7,1 7,1	1 12 2 0 1 7	4,3 52,2 8,7 0,0 4,3 30,4		223,0**	8. Identificar la reacción entre X e Y (Ídem pero sin opciones , abierta)	a) Bien, con ajuste b) Bien, pero estequiometría múltiplo, cuenta c) Bien moléculas no ajuste o mal d) Mal, cuenta moléculas+exceso e) Mal especies químicas ,NS/NC	13 7 8 2 0	43,3 23,3 26,7 6,7 0,0	1 0 6 14 18	2,6 0,0 15,4 35,9 46,2	236,0***

TABLA 4.9 (2/4)

		TQ_{FIN} I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann-Whitney	TQ_{FIN} II		GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann-Whitney
		Nº	%	Nº	%	Nº	%				Nº	%	Nº	%	
RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS . REACTIVO LIMITANTE.	2. ¿Se puede formar N ₂ O ₅ con cantidades iguales de N ₂ y O ₂ ?	a) No, necesito más O b) Sí, si condiciones c) No, N ₂ O ₂ o NO d) Sí, si no explotan e) Otras o NS/NC	1 24 2 0 1	3,6 85,7 7,1 0,0 3,6	5 2 12 0 4	21,7 8,7 52,2 0,0 17,4		78,0***	9 Ídem	Ídem	3 20 2 3 2	10,0 66,3 6,7 10, 6,7	17 9 9 2 2	43,6 23,1 23,1 5,1 5,1	388.5***
	4. Cuántos moles NH ₃ a partir de 12 mol de H ₂ según: N ₂ + 3H ₂ →2NH ₃	a) Bien b) Mal (otras) o NS/NC	24 4	85,7 14,3	11 12	47,8 52,2									
	5. La formación de metano C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si 100g C reaccionan con exceso H ₂ ¿gramos de CH ₄ ?	a) 100g ,la relación 1:1 b) Más de 100g, el metano... c) Menos de 100g , es gas d) La suma inicial de C + H ₂ e) Otras o NS/NC	5 15 4 1 3	17,9 53,6 14,3 3,6 10,7	6 7 1 9 0	26,1 30,4 4,3 39,1 0,0		247,0	10.. La formación de metano: C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si tengo de 100g de C reaccionan con un exceso de H ₂ ¿Cuándo concluye la reacción?	Cuando... a) Obtengo 100g de metano b) Se gastan 100g C y 200 H c) Se gasta el carbono d) Ambos reactivos se agotan e) Otras o NS/NC	0 0 28 0 2	0,0 0,0 93,3 0,0 6,7	1 5 24 1 8	2,6 12,8 61,5 2,6 20,5	403,0***
COMBUSTIÓN	10. Cuando algún combustible arde se produce:	a) Siempre agua y CO ₂ b) Siempre agua c) Siempre CO ₂ d) Distintas sustancias e) Otras o NS/NC	1 0 0 27 0	3,6 0,0 0,0 96,4 0,0	3 0 11 9 0	13,0 0,0 47,8 39,1 0,0					5 0 0 24 1	16,7 0,0 0,0 80,0 3,3	11 0 15 11 2	28,2 0,0 38,5 28,2 5,1	
	11. Ídem	Ídem													

TABLA 4.9 (3/4)

		TQ FIN I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann-Whitney	TQ FIN II		GEXP (30 al.)		GCON (39 al.)		U Mann-Whitney
		N°	%	N°	%	N°	%		N°	%	N°	%	N°	%	
ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO	9. Qué tipo de reacción es la combustión?	a) Endotérm. consume E	0	0,0	4	17,4		221,5**	12. las reacciones de combustión... ¿Son siempre exotérmicas?	a) Sí, siempre	24	80,0	14	35,9	329,0***
		b) Exotérm., espontánea	0	0,0	0	0,0				b) Sólo si hay llama	0	0,0	2	5,1	
		c) Endotérmica, E inicial	0	0,0	1	4,3				c) No, endotérmica (inicio)	4	13,3	13	33,3	
		d) Exotérm. desprende E	28	100,0	16	69,6				d) Sólo si desprende gases	0	0,0	3	7,7	
		e) Otra o NS/NC	0	0,0	2	8,7				e) Otras o NS/NC	2	6,7	7	17,9	
	11. El oxígeno que interviene en una combustión ¿Posee energía química?	a) Si, elemento químico	1	3,6	9	39,1		106,0***	13. En una cocina quemamos butano en presencia de oxígeno ¿papel del oxígeno con E?	a) Libera E "almacenada"	1	3,3	12	30,8	253,0***
		b) No, inorgánica	0	0,0	2	8,7				b) O ₂ no tiene E (inorgánica)	0	0,0	2	5,1	
		c) Si, tiene enlaces	27	96,4	7	30,4				c) E balance de ruptura y formación de enlaces	21	70,0	7	17,9	
		d) No, no es combustible	0	0,0	5	21,7				d) Por romper enlaces...	5	16,7	10	25,6	
		e) Otras o NS/NC	0	0,0	0	0,0				e) Otra o NS/NC	3	10,0	8	20,5	
ENERGÍA, CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA	13. Escribe tres palabras y frases relacionadas con la energía	a) Tres	26	92,9	9	39,1		151,0***	14. Ídem	Ídem	24	80,0	18	46,2	363,5***
		b) Dos	1	3,6	7	30,4					4	13,3	8	20,5	
		c) Una	0	0,0	4	17,4					1	3,3	1	2,6	
		d) Cero	1	3,6	3	13,0					1	3,3	12	30,8	
	14. ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?	a) No, se degrada.	3	10,7	6	26,1		95,5***	15. Ídem	a) No, se degrada.	0	0,0	7	17,9	276,0***
		b) Sí, si no pierde calor.	1	3,6	1	4,3				b) Sí, no si desprende calor.	1	3,3	11	28,2	
		c) Unas si, otras no	2	7,1	1	4,3				c) No, solo las renovables	0	0,0	2	5,1	
		d) Sí, siempre	20	71,4	2	8,7				d) Sí, en cualquier proceso	25	83,3	9	23,1	
		e) No, se transforma.	1	3,6	6	26,1				e) No, porque se transforma.	1	3,3	9	23,1	
		f) No, hay consumo de E	0	0,0	7	30,4				f) Otras o NS/NC	3	10,0	1	2,6	
		g) Otras o NS/NC	1	3,6	0	0,0									
	15. ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?	a) Se va perdiendo	1	3,6	6	26,1		212,5*	16. Ídem	a) Se va perdiendo	2	6,7	19	48,7	241,0***
		b) Pasa a E menos útil	12	42,9	6	26,1				b) Da E no deseables	22	73,3	8	20,5	
		c) Pasa a E contaminante	0	0	1	4,3				c) Obtienen E contaminantes	0	0,0	0	0,0	
		d) Pierde calidad, riqueza	15	53,6	9	39,1				d) Pierde riqueza	5	16,7	9	23,1	
		e) Otras o NS/NC	0	0,0	1	4,3				e) Otras o NS/NC	1	3,3	3	7,7	

TABLA 4.9. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP y GCON EN LA PRUEBA FINAL SOBRE CONCEPTOS DE REACCIONES QUÍMICAS. En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***p<0,001, **p<0,01 *p<0,05).

A continuación se realiza un análisis por bloques de contenidos como se ha realizado en apartados anteriores. Las ejemplificaciones se recogen tanto de alumnos del grupo experimental como del control para permitir una comparación de sus respuestas en el momento final.

Bloque 1: Cambios físicos y químicos

Si se observan las cuestiones referidas al reconocimiento de los procesos físicos y químicos se ve cómo el 100% de los alumnos del GEXP reconoce el cambio químico producido en la combustión, mientras en las respuestas del grupo de control se aprecia una dispersión semejante a la que se ve en el momento inicial en ambos grupos, coincidente con las concepciones que se comentaron en el apartado 4.1.2.

En la fase I el 100% de los alumnos reconocen que se trata de una reacción química frente al 13% del GCON. Las respuestas más frecuentes son que se trata de un cambio de estado (35%) o de una transformación en calor (26%), como sucedía en el momento inicial para ambos grupos. En la fase II el 97% de los alumnos contestan correctamente frente al 28% del GCON. En éstos se repite de forma mayoritaria la idea recogida en la bibliografía de la transformación en calor (46%) y también aparece la idea de cambio de estado (7%):

“Si se calienta el alcohol al ser poco denso se evapora” (GCON-A31-FII-FIN).

“Arde y se disuelve” (GCON-A17-FI-FIN).

Ningún alumno del GEXP señala ya la desaparición de la sustancia, apareciendo aún en el GCON en ambas fases (aproximadamente un 13%):

“Al quemarse se transforma en calor y desaparece el alcohol” (GCON-A19-FI-FIN).

Se constata además que muchos de los alumnos del GCON que contestan correctamente a la cuestión no tienen claro el concepto de cambio químico. Sólo uno de los tres estudiantes de la fase I y uno de los once de la fase II que escogen la opción correcta razonan adecuadamente el por qué. Sus producciones son parecidas a las que tenía el GEXP antes de comenzar la Unidad Didáctica (recogidas en el apartado 4.1.2.):

“Se transforma en calor porque se queman las partículas. Es un cambio químico” (GCON-A23-FI-FIN).

“El alcohol reacciona al quemarse en forma de fuego” (GCON-A35-FII-FIN).

Por el contrario las respuestas del GEXP, en ambos casos, son más o menos extensas, pero correctas, como se comentó en el apartado anterior:

“Al reaccionar con O_2 (la composición del alcohol es C y H) se forma CO_2 y H_2O ” (GEXP-A9-FI-FIN).

“Porque en presencia del O_2 los átomos del alcohol se reorganizan con el oxígeno para formar nuevas sustancias” (GEXP-A1-FI-FIN).

Lo mismo sucede en la cuestión C2, exclusiva para la fase II.

Del 70% del GEXP que identifica el proceso como un cambio químico, un 40% lo justifica correctamente, un 30% da una contestación incompleta y ninguno lo explica incorrectamente. En las explicaciones dadas en las respuestas correctas, se ve que en esta fase final no sólo explican la reacción como un cambio en la naturaleza de las sustancias sino que algunos hablan de reestructuración e incluso de la necesidad de calentar:

“La materia se ha transformado porque se ha combustionado y se ha producido una reacción química que ha provocado una reestructuración de las moléculas y los átomos dando lugar a otra sustancia” (GEXP-A6-FII-FIN).

“Ha ocurrido una reacción endotérmica porque solamente la mezcla de los reactivos no ha bastado y ha habido que suministrarle energía (calor en este caso) para que la reacción se lleve a cabo” (GEXP-A17-FII-FIN).

Si embargo en el GCON, del 44% que contesta que es una reacción química tan sólo el 23% lo hace con un razonamiento más o menos adecuado:

“Es una reacción de descomposición porque hay un proceso en que unas sustancias llamadas reactivos dan lugar a otras llamadas productos” (GCON-A25-FII-FIN).

Un 13% del GCON dan contestaciones incompletas y un 3% lo justifica de forma errónea incluyendo concepciones alternativas, como es la transformación en calor, que ya no aparece en el GEXP:

“Se forman varias sustancias porque se transforma en calor” (GCON-A8-FII-FIN).

Sigue persistiendo en ambos grupos la concepción alternativa de cambio de estado. En el caso del grupo experimental un 20% creen que se evapora y en el grupo control un 26% afirman que se trata de un cambio de estado pero la respuesta se diversifica. La mayoría cree que se trata de una fusión, aunque también hablan de evaporación e incluso uno nombra la sublimación pero lo refiere a un líquido en vez de a un sólido:

“Una parte del líquido se ha sublimado dejando el líquido metálico aparte”(GCON-A30-FII-FIN).

“Se ha evaporado una parte porque el punto de evaporización de esa parte es menor que el del líquido que queda” (GEXP-A5-FII-FIN).

Llama la atención que el número de alumnos del grupo control que contestan adecuadamente en vez de aumentar o mantenerse del momento inicial al final, disminuye sensiblemente, de un 31% al 23%. Además, las respuestas en blanco de este grupo en el momento final son muy elevadas, un 30,8% frente a un 10% del grupo experimental.

Bloque 2: Conservación de la masa

La cuestión C3 para ambas fases propone un ejemplo de conservación de la masa en sistemas abiertos, obteniéndose en ambos casos los productos de una oxidación de un metal (magnesio o hierro) y aumentando la masa del producto final.

Para la fase I, existe una diferencia sustancial del porcentaje de respuestas correctas del GEXP frente al GCON (68% frente al 48%) pero la diferencia en sus contestaciones no se puede considerar estadísticamente significativa. No así en la fase II que nos encontramos con un 77% de aciertos del GEXP frente a un 20% del GCON para la cuestión C3 y un 80% frente a un 10% en la C4. Las respuestas del GEXP son además más elaboradas, aún a veces con expresiones poco correctas. Incluyen aspectos como la formación de los óxidos o tienen en cuenta que el sistema es abierto:

“Como en la combustión se forman óxidos del combustible, si al principio sólo hay 6g y luego reacciona con O_2 la masa aumenta” (GEXP-A20-FI-FIN).

“En la combustión el oxígeno del aire se ha “asociado” con el hierro (sólido) por tanto el producto obtenido pesará más que el estropajo” (GEXP-A17-FI-FIN).

Ningún alumno del GCON de la fase I y sólo 6 de la fase II (un 15%) habla de oxidación o formación del óxido de magnesio o de hierro. En general hablan de combinación con el oxígeno, incluso utilizan la palabra mezcla. Algunos consideran que no puede aumentar la masa pues la oxidación se produce en estado gaseoso:

“Al final no obtenemos el magnesio del principio sino una mezcla de varias sustancias” (GCON-A24-FI-FIN).

“Al quemarse se evaporan algunas partículas que reaccionan con el oxígeno” (GCON-A25-FII-FIN).

Entre las respuestas incorrectas de ambos grupos existen diferencias. Para la fase I después de la respuesta correcta (68%) la opción que le sigue es la concepción alternativa de que se produce una mezcla entre el magnesio y el oxígeno (18%). Si se analiza su explicación, cuatro de los cinco alumnos que señalan la opción de mezcla razonan la opción correcta, confundiendo la palabra mezcla del oxígeno por la de reacción, aunque luego lo expliquen perfectamente como un proceso químico:

“El magnesio reacciona con el oxígeno formando un nuevo compuesto que por lo tanto tiene más masa” (GEXP-A17-FI-FIN).

En el GCON de la fase I tras la respuesta correcta (44%) sigue siendo mayoritaria la opción c (30%) interpretando inadecuadamente el principio de conservación de la masa como ocurría en los momentos iniciales de ambos grupos:

“Porque el magnesio no es inflamable por dentro así. Creo que sería imposible tener una cantidad específica y que aumente cuando se quema” (GCON-A10-FI-FIN).

“Una masa no puede tener dos pesos” (GCON-A24-FI-FIN).

Un porcentaje del GCON similar al del GEXP (18%) confunde también reacción con mezcla pero en este caso sólo uno de los cuatro lo explica después como reacción química, los otros tres o no lo justifican o lo hacen incorrectamente.

Lo mismo pasa en la fase II, la mayoría de las opciones incorrectas del GCON van en dos sentidos: utilizar la Ley de Lavoisier para afirmar que la balanza debe estar equilibrada (41%) y decir que se pierde peso porque en las combustiones se desprenden gases (36%). En el GEXP sólo un 10% de los estudiantes piensa que la balanza se equilibra utilizando erróneamente la Ley de Lavoisier para justificarlo. Además un 13% piensa que se pierde masa al combustionar.

Para la fase II se incluye otra pregunta, la C4 que refuerza los datos obtenidos anteriormente. Un 80% de los alumnos del GEXP comprenden la conservación de la masa en sistemas abiertos frente al 10% del GCON, que contesta mayoritariamente que pesan lo mismo (un 64%):

“Los gases que expulsa un coche son los producidos por la combustión de un hidrocarburo. La combustión no consiste ni más ni menos en la oxidación rápida del material que se quema, por tanto pesará más” (GEXP-3-FII-FIN).

Bloque 3: Representaciones macroscópicas y microscópicas

Las respuestas del grupo experimental a las cuatro cuestiones planteadas sobre representaciones microscópicas, tanto de sustancias como de ecuaciones químicas, resultan en todos los casos y para todas las cuestiones mejores estadísticamente que las del grupo control. A continuación se compara cada una de ellas.

En el caso de las primeras (C6-FI y C5-FII) se trata de representar o interpretar la representación microscópicas de las sustancias, resultando significativamente mejores las representaciones de los estudiantes del GEXP. En la figura 4.13 se muestra una respuesta tipo del GEXP en el momento final.

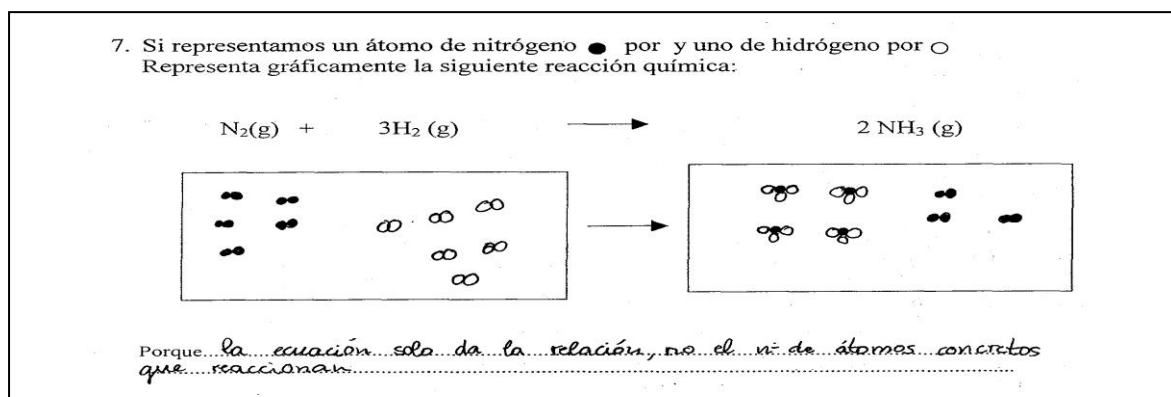


FIGURA 4.13. EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DE REACCIONES QUÍMICAS TRAS EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DEL ESTUDIANTE GEXP-A17-FI.

En la preguntas sobre interpretación de las ecuaciones químicas (C6 para la fase I y C5 para la fase II) se observa como el GEXP ha evolucionado en sus respuestas interpretando correctamente, en su mayoría, el significado de una fórmula. Tan sólo un alumno de cada fase (entre un 3 y un 4%) dibuja mal las moléculas que intervienen en la ecuación, frente a un 48% del GCON en la primera fase (respuesta mayoritaria) y un 28% en la segunda.

Mientras los fallos del alumnado del GCON al interpretar los coeficientes y subíndices en las fórmulas son semejantes a las que inicialmente tenían ambos grupos, según se han comentado en el apartado de homogeneidad, el GEXP parece haberlos erradicado casi completamente. Así, muchos alumnos de los GCON desconocen el significado de los coeficientes, e interpretan 2NH_3 como N_2H_6 , lo que prácticamente no sucede en el GEXP. Además, los alumnos

experimentales dan en este momento final, en general, explicaciones elaboradas a sus dibujos (figura 4.14.).

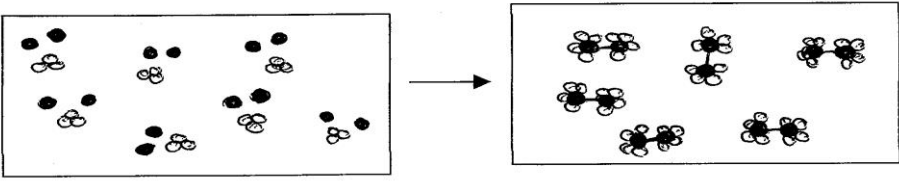
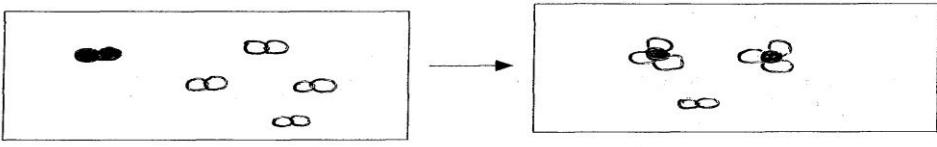
ESTUDIANTE GCON-A13-FI
<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ </div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>Porque... Se forma un enlace entre los N₂ que antes se venían, y se separan en 2.</p>
ESTUDIANTE GEXP A27-FI
<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno ● por y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$ </div> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>Porque... los coeficientes estequiométricos nos indican la proporción en que reaccionan los reactivos y los productos obtenidos. Pero podría haber un exceso en alguno de los reactivos que quedaría como exceso entre los productos.</p>

FIGURA 4.14. EJEMPLOS DE REPRESENTACIÓN DE REACCIONES QUÍMICAS EN LOS GCON Y GEXP TRAS EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES GCON-A13-FI (arriba) y GEXP A27-FI (abajo).

En el GCON sigue persistiendo la idea de que es una mezcla (5 estudiantes de 23 en fase I y 8 de 39 en fase II): Esta concepción errónea se daba en el momento inicial, en ambos grupos, pero en el momento final ningún alumno de la muestra experimental, de ninguna fase, lo reproduce. En la figura 4.15 se muestra algún ejemplo de la semejanza entre la representación final de mezcla persistente en el grupo control con la inicial de los alumnos del grupo experimental.

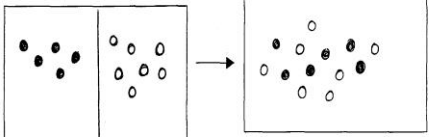
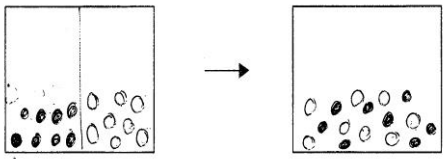
ESTUDIANTE GCON-A7-FI-FIN	ESTUDIANTE GEXP A21-FI-INI
<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  <p>Porque en el primer cuadro debe estar separado el N2 del 3H2 y en el segundo ya se ha mezclado.</p>	<p>8. Si representamos un átomo de cloro por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$  <p>Porque al final tiene q haber el mismo número de átomos de cada compuesto al principio.</p>

FIGURA 4.15. SEMEJANZA ENTRE LOS DIBUJOS FINALES DEL GRUPO CONTROL Y LOS INICIALES DEL GRUPO EXPERIMENTAL DE LOS ESTUDIANTES GCON-A7-FI-FIN (a la izquierda) y GEXP A21-FI-INI (a la derecha).

Como se comentó en el apartado 4.4.1, las respuestas erróneas del grupo experimental en el momento inicial eran mayoritariamente por la agrupación de las moléculas según el coeficiente y la no conservación del número y tipo de átomos, antes y después de la reacción. Ahora esa opción aparece en los GCON pero no en los GEXP, que por el contrario explican la conservación de los átomos (figura 4.16).

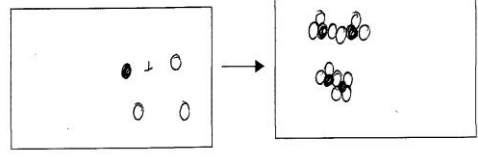
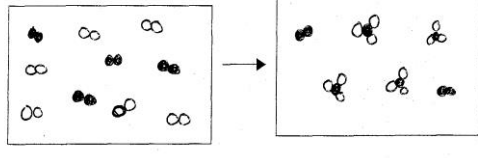
ESTUDIANTE GCON-A24-FI-FIN	ESTUDIANTE GEXP A1-FI-FIN
<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  <p>Porque es la suma de los átomos.</p>	<p>7. Si representamos un átomo de nitrógeno por ● y uno de hidrógeno por ○ Representa gráficamente la siguiente reacción química:</p> $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  <p>Porque debe haber el mismo número de átomos antes y después de la reacción, independientemente de la cantidad que haya de cada uno.</p>

FIGURA 4.16. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIBUJOS FINALES DEL GRUPO CONTROL Y EXPERIMENTAL DE LOS ESTUDIANTES GCON-A24-FI-FIN (a la izquierda) y GEXP A1-FI-FIN (a la derecha).

Bloque 4: Relaciones estequiométricas. Reactivo limitante

Ante una pregunta como la C2 (fase I) y C9 (fase II) sobre la formación de N_2O_5 con cantidades iguales de nitrógeno y oxígeno, la mayoría del GCON en ambas fases no interpreta correctamente los subíndices de una fórmula ni la relación entre la simbología de las ecuaciones y las fórmulas. Si se suman las

opciones incorrectas a y c que señalan que para formar algo de N_2O_5 no se puede tener cantidades iguales de reactivos sino más oxígeno o que debe formarse NO o N_2O_2 , asignando a los subíndices una entidad macroscópica, los grupos control llegan a un 70% y en los experimentales al 10 y al 17%. Las justificaciones del GCON en el momento final recuerdan a la situación inicial de ambos grupos:

“Se necesita oxígeno porque en la reacción no pueden formar átomos de éste” (GCON-A39-FII-FIN).

“Debe formarse NO o N_2O_2 , los reactivos deben ser igual a los productos” (GCON-A17-FII-FIN).

Si se analizan las respuestas correctas (66% y 86% para los grupos experimentales y 9% y 23% de los grupos control) se observa que, no solo la diferencia en el porcentaje es abultada sino que las respuestas de los estudiantes del GEXP son, en general, ampliamente argumentadas. Explican el significado de los subíndices que las relaciones estequiométricas implican o el concepto de reactivo limitante frente a la falta de explicación del GCON:

“Sí se puede formar N_2O_5 , porque habrá un reactivo limitante y otro en exceso sobraré de uno pero se puede formar” (GEXP-A28-FI-FIN).

“Si, cantidades iguales pueden ser de moles, de gramos, de litros, y aunque haya (por ejemplo) la misma masa de oxígeno y nitrógeno habrá diferente cantidad de moléculas” (GEXP-A17-FII-FIN).

“Se producirá N_2O_5 dejando N_2 como exceso” (GEXP-A26-FII-FIN).

Otras cuestiones propuestas sobre el concepto de reactivo limitante y en exceso son la C5 de la fase I y C10 de la fase II. Para la primera un 54% de los estudiantes de la fase I contesta correctamente sobre la formación de metano en presencia de exceso de hidrógeno frente a un 30% del GCON. La diferencia aun siendo grande no llega a ser significativa desde el punto de vista estadístico.

Sin embargo existe una gran diferencia al analizar las explicaciones de los alumnos. En el GCON la mayoría justifica sus respuestas erróneas en base a la ley de conservación de la masa, recordando la situación inicial del GEXP, ninguno habla de masa molar, ni de la relación entre cantidad de sustancia y masa. Tan sólo uno de los siete alumnos que contesta correctamente intenta dar una explicación:

“Haciendo una serie de cálculos el resultado es mayor de 100g” (GCON-A16-FI-FIN).

Por el contrario, del 54% de los estudiantes del GEXP que escogen la opción correcta, el 30% explica la relación del resultado con la masa molar del

metano y un 46% propone estrategias de resolución para averiguar que esa es la respuesta correcta:

“Más de 100g porque si calculamos los moles de C y luego hacemos una relación nos dan los mismos moles de CH₄ pero al calcular la masa no sale 100g por tener mayor masa molar” (GEXP-A16-FI-FIN).

En el caso de la segunda fase (pregunta C10) se observa que se produce un cambio estadísticamente significativo. Un 93% de respuestas del GEXP son correctas frente al 62% del GCON. Analizando sus producciones, el 80% de los alumnos del grupo experimental se refiere en sus argumentos al concepto de reactivo limitante y en exceso frente al 40% de los alumnos control. En algunos casos se reflejan la resistencia de algunas concepciones alternativas (ej. la desaparición de la sustancia):

“Hasta que se gasta el carbono, porque el carbono es el reactivo limitante y la reacción se para cuando éste se consume o desaparece” (GCON-A3-FII-FIN).

El siguiente ejemplo muestra el tipo de contestación mayoritaria del GEXP:

“Hasta que se gasta el carbono, es el reactivo limitante y de su cantidad depende la masa de metano obtenida” (GEXP-A6-FII-FIN).

Bloque 5: Combustión

Ante la pregunta de qué sustancias se producen al quemar un combustible, C10 para la fase I y C11 para la fase II, los alumnos del grupo control en ambas fases continúan presentando las concepciones alternativas iniciales que compartían con los alumnos de los grupos experimentales, como la de formarse CO₂ siempre independientemente de las sustancias o de que siempre se formará agua y dióxido de carbono:

“Cuando se produce la combustión siempre queda dióxido de carbono, no se quema, es un residuo de la combustión” (GCON-A6-FI-INI).

Llama la atención una respuesta que asocia al dióxido de carbono el desprendimiento de la energía en las combustiones:

“Siempre dióxido de carbono, las demás sustancias no tienen tanta cantidad de energía” (GCON-A13-FI-INI).

En los GEXP ningún alumno de ninguna fase contesta que siempre se producirá agua (sólo) o siempre dióxido de carbono (sólo). Únicamente un alumno de la primera fase cree que se observarán ambos, aunque en su explicación alude a la composición de C e H de los combustibles. En la fase II esta opción es escogida por cinco alumnos que razonan en términos de combustiones completas de hidrocarburos.

Los alumnos que contestan bien son mayoritarios en los GEXP, (96% y 80%), frente al 39-28% del GCON. Si se analizan las respuestas correctas se observa que dentro de los grupos control éstas son muy generales, no encontrándose ningún alumno de la fase I, y sólo 1 de la fase II, que explique la formación de los óxidos en las combustiones o analice la composición del combustible como clave para la determinación de los productos formados. En los grupos experimentales las explicaciones son más completas, en casi todos los casos:

“No es lo mismo quemar leña o gasolina que alcohol o nitrógeno u oxígeno” (GCON-A3-FI-FIN).

“No todos los combustibles producen la misma sustancia” (GCON-A1-FII-FIN).

“En las combustiones no siempre se produce CO_2 y H_2O , se producen los óxidos de la sustancia combustible” (GEXP-A12-FI-FIN).

“El agua y el CO_2 se producen en caso de que el combustible este formado por C o H. En caso contrario se formarán los óxidos de los elementos que componen el combustible” (GEXP-A16-FII-FIN).

Bloque 6: Energía de enlace. Balance energético

De manera global, para las cuestiones relacionadas con la energía química, se produce un cambio estadísticamente significativo a favor del grupo experimental frente al control en las dos fases.

En la primera de las cuestiones, referente al concepto de reacción exotérmica y endotérmica (C-9 para fase I y C-12 para fase II), la concepción errónea de que son endotérmicas por necesitar el aporte de la llama inicial (Boo, 1998; Wobbe, 1986) es ya minoritaria en el GCON (4%), y desaparece en el GEXP. Sin embargo persiste en la fase II sobre todo en el grupo control (33% frente al 13% del GEXP). Aunque la opción correcta es la más elegida en todos los grupos los porcentajes son muy diferentes (100% para el GEXP frente a 70% del GCON en la fase I y 80% frente al 36% en la fase II). Analizando las respuestas correctas se observa como en el GCON las explicaciones dadas se refieren al desprendimiento de calor y sólo uno de los 39 habla de que la

energía inicial es compensada con la final por lo que el resultado es un desprendimiento de energía:

“Aunque necesita un poco de energía al principio es mayor la cantidad que se desprende” (GCON-11-FII-INI).

“Desprenden energía al reaccionar o quemarse” (GCON-A25-FII-FIN).

En el GEXP la mayoría de los alumnos analizan algún aspecto energético, explican en muchos casos el balance energético, o hablan de la entalpía negativa del proceso, incluso varios hablan de la estabilidad de las moléculas iniciales y finales recordando los diagramas de entalpía de una reacción:

“Exotérmica siempre porque desprende energía ya que el producto es más estable que los reactivos” (GEXP-A26-FII-FIN).

“Exotérmica siempre porque aunque haya que darle energía para que se inicie la energía obtenida es mayor que lo que hay que suministrarle inicialmente” (GEXP-A17-FII-FIN).

“Exotérmica siempre porque $\Delta H < 0$, son exotérmicas y por tanto desprenden energía” (GEXP-A21-FII-FIN).

La idea de que pueden ser endotérmicas y exotérmicas a la vez, confusión debida al aporte inicial de energía, todavía persiste en tres alumnos de los GCON. El único del GEXP que lo señala lo justifica de manera diferente, indica que necesita conocer los enlaces rotos para escoger si sería de un tipo u otro.

Además, es importante destacar que entre las respuestas correctas del GCON hay algunas explicaciones poco lógicas que indican escasa comprensión del concepto:

“Exotérmica siempre, porque exo significa forma ¿no? No lo sé” (GCON-A15-FII-FIN).

“Exotérmica siempre, porque siempre expulsan gases” (GCON-A32-FII-FIN).

“Exotérmica porque siempre se le aplica una energía” (GCON-A34-FII-FIN).

Respecto al balance energético, C11-FI y C-13-FII, los GEXP asumen mayoritariamente (96% y 70%) que la energía desprendida en la reacción de combustión es un balance entre la energía requerida entre los enlaces rotos y los formados, incluyendo al oxígeno y resto de sustancias que intervienen en la reacción. Además, la pregunta C13 de la fase II se diseña para discernir no sólo el concepto de balance energético sino para comprobar si persiste o no la idea de que solo al romper enlaces es cuando se libera energía. Se observa que en el GEXP la opción mayoritaria es la correcta (70% que considera el balance

energético entre la ruptura de enlaces y formación de enlaces) frente al 18% del GCON. En cambio, en el GCON persiste la idea de las moléculas como almacén (Garford et al., 1986) que es la opción más escogida (31% frente a un 3% del GEXP).

Ningún alumno de los grupos experimentales consideran en el momento final de la investigación que el oxígeno no posee energía asociada por el hecho de ser una molécula inorgánica, como aparecía en la bibliografía (Boo, 1998). En el GCON sigue apareciendo esta concepción aunque de forma minoritaria (5 y 9%). Otra concepción que también desaparece entre los alumnos del GEXP es la de considerar que el oxígeno no debe tener energía por no ser el combustible, opción que aparece en un porcentaje considerable en el GCON en ambas fases (22 y 26%). La opción mayoritaria en el GCON es la errónea de considerar que por el hecho de ser un elemento químico debe tener energía química (31 y 39%), minoritaria en los GEXP (4 y 3%). Otras respuestas de los GCON coinciden con las concepciones de ambos grupos en el momento inicial y persisten en los GCON frente a la disminución o desaparición en los GEXP, como por ejemplo la idea de almacén por ser el combustible o que el oxígeno solo es necesario para liberarlo (no indicando nada de su energía):

“La energía que desprende proviene de lo que se quema no del aire” (GCON-A6-FI-FIN).

“Algo tiene que aportar porque si no hay oxígeno no se produce la combustión” (GCON-A16-FI-FIN).

“Al romper enlaces se produce energía” (GCON-A23-FI-FIN).

Entre las respuestas correctas, los alumnos del GCON dan diversas justificaciones como la necesidad de oxígeno o la formación de óxidos pero ninguno habla de balance energético, mientras la mayoría de los alumnos de los GEXP lo señalan de alguna forma. En el GEXP todos los alumnos menos uno asocia la energía del oxígeno al hecho de poseer enlaces en su estructura. Incluso hablan de entalpía de enlace del compuesto:

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque en una combustión se desprende CO_2 y H_2O que son dos óxidos” (GCON-A11-FII-FIN).

“Sí, tiene un enlace doble $\text{O}=\text{O}$ y su entalpía de enlace tiene un valor de energía” (GEXP-A28-FI-FIN).

“Sí, la energía química depende del tipo y cantidad de enlaces que tiene un compuesto” (GEXP-A3-FI-FIN).

El grupo experimental entiende mayoritariamente la idea de balance y que el proceso de ruptura de enlaces requiere energía:

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque cuando se rompe necesito energía y cuando se forma obtenemos energía y así se produce un balance” (GEXP-A26-FII-FIN).

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque para romper hace falta dar energía por lo que gana energía, para formar cede energía, pierde por tanto es de esa forma” (GEXP-A21-FII-FIN).

Algunos hablan de estabilidad de los productos finales, de mayor o menor energía de reactivos y productos (recordando los diagramas energéticos) uno señala la variación de entalpía e incluso alguno explica para qué sirve la energía inicial de la llama:

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque la energía de los reactivos es mayor” (GEXP-A27-FII-FIN).

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque al formarse enlaces se desprende energía, $\Delta H < 0$ ” (GEXP-A15-FII-FIN).

“Balance entre ruptura y formación de enlaces....porque con la llama inicial se rompen los primeros enlaces y con la energía de la formación de nuevos compuestos se rompen los enlaces del resto” (GEXP-A24-FII-FIN).

Bloque 7: Energía, conservación y degradación de la energía

Para abordar este bloque se considera la primera de las cuestiones, C13 y C14 para fase I y II, sobre asociación de palabras con la energía.

Tanto los grupos experimentales como los control mejoran en sus respuestas pues ya no están vacías de contenido como ocurría en la mayoría de las respuestas del test inicial para todos ellos. La diferencia en las respuestas correctas entre los grupos es mayor para la fase I (93% del GEXP frente a 39% del GCON) que en la fase II (80% del GEXP frente a 61% del GCON).

Además, se aprecian diferencias en las contestaciones en sí en ambas fases, pues en general las del grupo control son correctas pero sencillas. Las palabras mayoritariamente asociadas con energía son calor, solar o eólica y hay todavía muchas referencias a la luz, electricidad, corriente, y las pocas referidas a reacciones químicas, llegan a incluir definiciones de reacciones endotérmicas o exotérmicas, o el principio de conservación de la energía. Ningún alumno habla de entalpía, energía de enlace y, en la segunda fase tampoco de energías renovables, conservación ni degradación, etc.:

“Gracias a la energía tenemos luz” (GCON-A24-FII-FIN).

“Hay poca luz, necesitas otra bombilla” (GCON-A29-FII-FIN).

Cuando se refieren a cuestiones químicas también lo hacen de manera simple:

“De la combustión se obtiene energía” (GCON-A21-FI-FIN).

“La energía química es un tipo de energía” (GCON-A15-FI-FIN).

En el caso de los GEXP las palabras más frecuentes son las relacionadas con energía química y con las energías renovables (entalpía, energía de enlace, biomasa, energía renovable, etc.). Las últimas pueden deberse al contexto trabajado pero las primeras debían ser familiares para ambos grupos experimental y control. Se aprecia, además, una mayor complejidad en la elaboración de las frases y la introducción en ocasiones de valoraciones personales, novedad frente a los GCON. Se puede pensar que el contexto académico trabajado les ha hecho incorporar conceptos y la metodología llevada a cabo, la MRPI, mejora la verbalización:

“La energía solar podría ser una buena fuente de energía renovable en España” (GEXP-A27-FI-FIN).

“A partir de la Biomasa podemos obtener energía” (GEXP-A6-FI-FIN).

“El biogás al quemarlo puede producir energía calorífica” (GEXP-A13-FII-FIN).

“Por la formación de enlaces se forma energía” (GEXP-A24-FII-FIN).

La mayor verbalización alcanzada por el GEXP, gracias a la MRPI, frente a la que muestra el GCON se observa no sólo en la complejidad de las frases sino también en la confianza al proponerlas. Tan sólo un alumno del GEXP de cada fase, alrededor de un 3%, sugiere alguna palabra sin elaborar ninguna frase asociada a ella, mientras en los GCON sucede en un 10% para la fase I y un 30% para la fase II.

En cuanto a las dos últimas cuestiones referidas a la conservación y la degradación de la energía los resultados muestran cambios estadísticamente significativos a favor de los GEXP en ambas fases. Al igual que sucedía en otras cuestiones, el GCON presenta una situación más propia del momento inicial del proceso de enseñanza-aprendizaje que del final. Así para ambas cuestiones los GEXP Y GCON, en general, presentaban gran dispersión en la selección de las opciones correctas. Esto indicaba una escasa comprensión de un concepto difícil como es la conservación y degradación, que consideran mayoritariamente como una pérdida de energía. Los dos GEXP han evolucionado en sus respuestas y contestan significativamente mejor que los GCON en ambas fases. Además ya no separan ambos conceptos pues al explicar la conservación justifican la degradación:

“La energía se conserva siempre, aunque la energía se degrade, se transforme o se transfiera cuando sumamos toda la energía obtenida observamos que siempre se conserva” (GEXP-A22-FI-FIN).

“La energía se conserva siempre pero se degrada, es decir se convierte en formas de energía menos útiles” (GEXP-A19-FII-FIN).

“Siempre se conserva aunque pueden aparecer en otras formas que no nos interesan” (GEXP-A4-FII-FIN).

“La energía se conserva, puede transformarse o transferirse pero siempre se conserva al igual que la ley de Lavoisier con la conservación de la masa” (GEXP-A6-FI-FIN).

Para el concepto de degradación de la energía repiten sus razonamientos. Los GEXP han desterrado prácticamente la idea de pérdida (3-7%) y los GCON se resisten a ello (26-49%):

“Pasa a energías menos útiles y no las podemos usar pero no se pierde realmente” (GEXP-A9-FI-FIN).

“Se transforma en otro tipo de energía como el calor que luego puede disiparse al ser absorbida por otro cuerpo con lo que la energía inicial se sigue conservando” (GEXP-A6-FII-FIN).

“Porque en ese efecto de desaparición pierde parte de su calidad” (GCON-A16-FI-FIN).

“Es como una evaporación de H₂O, entonces se va como evaporando” (GCON-A10-FI-FIN).

Estudiados todos los bloques de contenidos y dado que en la mayoría de las preguntas se ha producido un cambio estadísticamente significativo a favor del GEXP y en la mayor parte de los casos con un nivel de significatividad muy alto se puede decir que:

Las diferencias estadísticas significativas ponen de manifiesto que se ha producido un cambio conceptual sobre reacciones químicas a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

4.4.3. CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 3.3 RELATIVA AL CAMBIO CONCEPTUAL DEL GEXP SOBRE MEDIOAMBIENTE

Al igual que en el caso del cambio conceptual relacionado con conceptos de reacciones químicas, se procede al análisis del aprendizaje de los conceptos medioambientales del GEXP. Para ello se analizan los datos de los TMA (cuadro 2.18 pp. 114-115) mediante el test de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon. La hipótesis nula del estadístico es que los resultados, antes y después del aprendizaje realizado siguiendo la MRPI, son homogéneos frente a la alternativa, que sean estadísticamente mejores al final. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 4.10.

Si se analizan los datos de la tabla se detecta como los grupos de las dos fases coinciden en sus resultados siendo ambos significativamente mejores en el momento final que en el inicial.

En las dos preguntas 6 y 8 en las que ambos grupos no parecen mejorar es porque sus respuestas iniciales eran ya muy acertadas (entre un 64 y un 90%), parece pues que conocen los conceptos a tratar. Las dos cuestiones se refieren al efecto invernadero y su efecto sobre el cambio climático, temas de gran difusión mediática, por lo que es lógico que ambos grupos tuviesen información sobre estos conceptos en el momento inicial. Aún así, todos los grupos mejoran en sus porcentajes de acierto, llegando a resultados finales de entre un 90 y un 100% en ambas cuestiones.

En la fase dos existen también dos cuestiones en las que, aún apreciando un gran avance de las respuestas correctas, no se puede concluir que se produzca un cambio significativo en las respuestas de los alumnos: la C1 sobre concepto de biomasa y la C7 sobre la contaminación que produce el carbón. Para la C1 de la fase I que presenta en el momento inicial una dispersión en sus respuestas, con un 38% de aciertos, se obtiene en el momento final un 100% de respuestas correctas, cambio estadísticamente significativo. Sin embargo, en la fase II no es así, pues aún obteniendo un 100% de aciertos en el momento final, el 93% de alumnos ya conoce inicialmente el concepto (quizá por su tratamiento en la asignatura de tecnología que cursan, según algún comentario vertido por los alumnos).

TMA		FASE I GEXP (28 alumnos)					FASE II GEXP (30 alumnos)				
		INICIAL		FINAL		Wilconxon	INICIAL		FINAL		Wilconxon
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. ¿Qué es la biomasa?	a) Masa muscular animales b) Alimentos sin aditivos,... c) Combustibles orgánicos no fósiles d) Alimentos bajos en calorías... e) Otras o NS/NC.	9	32,1	0	0,0	3,14***	0	0,0	0	0,0	0,71
		1	3,6	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
		11	39,3	28	100,0		28	93,3	30	100,0	
		3	10,7	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
		4	14,3	0	0,0		2	6,7	0	0,0	
2. ¿Qué consideras que quiere decir crisis energética?	a) No hay tanta energía como pretendemos gastar b) Gasto energético del país lo endeuda c) Desacuerdos por monopolio d) Escasez tipo E utilizada, se resiente economía e) Otras o NS/NC	11	39,3	6	21,4	1,38*	12	40,0	10	33,3	1,46*
		2	7,1	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
		1	3,6	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
		12	42,9	22	78,6		11	36,7	20	66,7	
		2	7,1	0	0,0		7	23,3	0	0,0	
3. Enumera tipos de energía renovables	a) Identifica varios tipos y entre ellos la biomasa b) Identifica varios tipos pero no la biomasa. c) Otras o NS/NC	0	0,0	23	82,1	4,58***	15	50,0	27	90,0	1,30*
		21	89,3	5	17,9		15	50,0	3	10,0	
		7	10,7	0	0,0		0	0,0			
4. ¿Qué es la lluvia ácida?	a) Precipitaciones ácidas de volcán b) ácidos producidos por coches,... acumulados en atmósfera c) Precipitaciones ácidas por transformación gases + agua d) Precipitaciones ácidas por desertización e) Otras o NS/NC	0	0,0	0	0,0	3,13***	0	0,0	0	0,0	2,31***
		20	71,4	7	25,0		15	50,0	10	33,3	
		3	10,7	20	71,4		10	33,3	20	66,7	
		3	10,7	0	0,0		1	3,3	0	0,0	
		2	7,1	1	3,6		4	13,3	0	0,0	
5. ¿es el ozono siempre beneficioso?	a) Si, previene rayos UV b) No, puede ser contaminante c) Sí, es oxígeno para respirar d) No, el de laboratorio. e) Otras o NS/NC	14	50,0	6	21,4	1,71**	26	86,7	5	16,7	3,34***
		9	32,1	21	75,0		3	10,0	23	76,7	
		0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
		1	3,6	1	3,6		1	3,3	1	3,3	
		4	14,3	0	0,0		0	0,0	1	3,3	

TABLA 4.10 (1/2)

TMA			FASE I GEXP (28 alumnos)				FASE II GEXP (30 alumnos)							
			INICIAL		FINAL		Wilconxon	INICIAL		FINAL		Wilconxon		
			Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%			
6. ¿ A qué agente es debido principalmente el efecto invernadero?	a)	Aumento CO₂ FASE I	a)	Aumento CO₂ FASE II	18	64,3	25	89.3	0,21	20	66,7	30	100,0	0,02
	b)	Aumento óxidos de S	b)	Aumento óxidos de S	1	3,6	2	7,1		1	3,3	0	0,0	
	c)	Aumento óxidos de N	c)	Aumento óxidos de N	0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	d)	Aumento óxidos de N y S	d)	Aumento óxidos de N y S	4	14,3	1	3,6		0	0,0	0	0,0	
	-----		e)	Aumento CFCs	-	-	-	-		4	13,3	0	0,0	
	e)	Otras o NS/NC	f)	Otras o NS/NC	5	17,9	0	0,0		5	16,7	0	0,0	
7. ¿Por qué los ecologistas están en contra de quemar carbón?	a)	Espacio e impacto visual			0	0,0	0	0,0	1,78**	1	3,3	1	3,3	1,13
	b)	Es fuente limitada (fósil)			19	67,9	4	14,3		3	10,0	3	10	
	c)	Gases más tóxicos que gasoil.			8	28,6	22	78,6		18	60,0	26	86,7	
	d)	Es mas caro que la madera			0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	e)	Otras o NS/NC			1	3,6	2	7,1		8	26,7	0	0,0	
8. ¿ Qué efecto que produce el aumento de CO ₂ en el planeta.	a)	Calentamiento climático			20	71,4	28	100,0	-0,21	27	90,0	29	96,7	-3,3
	b)	Enfriamiento, deshielo polos			3	10,7	0	0,0		0	0,0	1	3,3	
	c)	Disminución humedad			1	3,6	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	d)	Aumento humedad ambiente			0	0,0	0	0,0		0	0,0	0	0,0	
	e)	Otras o NS/NC			4	14,3	0	0,0		3	10,0	0	0,0	
9. ¿A qué se debe el mal funcionamiento de las calderas?	a)	Formación metano			1	3,6	0	0,0	3,86***	2	6,7	0	0,0	3,09***
	b)	Combustión incompleta genera CO			8	28,6	27	96,4		7	23,3	23	76,7	
	c)	Acumulación CO ₂			2	7,1	1	3,6		4	13,3	1	3,3	
	d)	Desprendimiento cobre			2	7,1	0	0,0		7	23,3	5	16,7	
	e)	Otras o NS/NC			15	53,6	0	0,0		10	33,3	1	3,3	
10. Al quemar residuos agrícolas se obtiene E pero se desprende CO ₂ ¿Cómo afecta al medio ambiente?	a)	Deforestación			3	10,7	0	0,0	1,43*	0	0,0	0	0,0	2,04**
	b)	Aumento efecto invernadero por aumento CO ₂			4	14,3	13	46,4		14	46,7	14	46,7	
	c)	No aumenta efecto invernadero, no hay aumento neto de CO₂			13	46,4	15	53,6		6	20,,	15	50,0	
	d)	Disminución capa de ozono			2	7,1	0	0,0		2	6,7	1	3,3	
	e)	Otras o NS/NC			6	21,4	0	0,0		8	26,7	0	0,0	

TABLA 4.10. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP EN LAS PRUEBAS INICIAL Y FINAL SOBRE CONCEPTOS MEDIOAMBIENTALES. En negrita aparecen las opciones de respuesta correcta y los valores del estadístico que apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que en el inicial (*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$).

La segunda cuestión que diferencia la fase I y la II es la C7, relacionada con los gases que emite el carbón al quemarse. En la fase I se pasa de un 29% de aciertos a un 79%, cambio estadísticamente significativo. Sin embargo en la fase II el cambio, del 60% inicial al 87% final, no resulta suficiente para considerarlo estadísticamente significativo, al partir de un resultado abultado de aciertos antes del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Parece pues que se producen cambios significativos en los dos grupos en ciertas cuestiones medioambientales pero que los conocimientos iniciales de un grupo pueden variar por diversos motivos, por ejemplo académicos, relacionados con los medios de comunicación o incluso sociales o culturales del entorno, lo que condiciona que estos cambios conceptuales sean estadísticamente significativos.

En general, se puede afirmar que:

Para las dos fases de la investigación, se consigue un cambio conceptual sobre medioambiente, estadísticamente significativo, en relación a los conceptos de crisis energética, energías renovables, ciclo del dióxido de carbono o efectos de contaminantes como lluvia ácida, ozono o monóxido de carbono, como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI. Además, en la fase I también se detecta el cambio conceptual para la biomasa y los contaminantes del carbón natural. En ambas fases, no se detectan cambios estadísticamente significativos en el aprendizaje del concepto de efecto invernadero y sus consecuencias.

4.4.4. CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 3.4 RELATIVA A LA COMPARACIÓN DEL CAMBIO CONCEPTUAL DE LOS GEXP Y GCON SOBRE MEDIOAMBIENTE

Tras el estudio del cambio conceptual producido en los grupos experimentales, en relación a conceptos medioambientales, antes y después de la metodología de enseñanza y aprendizaje implementada, se comprueba si existen diferencias estadísticamente significativas en el aprendizaje conceptual entre los GEXP y GCON. Así, al igual que se hizo con la comparación de los conceptos sobre reacciones químicas se analizan las respuestas del test TMA de todos los alumnos con el estadístico de la U de Mann-Whitney. Los datos aparecen en la tabla 4.11.

TMA		FASE I					FASE II				
		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. ¿Qué es la biomasa?	a) Masa muscular animales b) Alimentos sin aditivos,... c) Combustibles orgánicos no fósiles d) Alimentos bajos en calorías... e) Otras o NS/NC.	0	0,0	0	0,0	319,0	0	0,0	3	7,7	508,5***
		0	0,0	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
		28	100,0	22	95,7		30	100,0	30	76,9	
		0	0,0	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
		0	0,0	1	4,3		0	0,0	4	10,3	
2. ¿Qué consideras que quiere decir crisis energética?	a) No hay tanta energía como pretendemos gastar b) Gasto energético del país lo endeuda c) Desacuerdos por monopolio d) Escasez tipo E utilizada, se resiente economía e) Otras o NS/NC	6	21,4	6	26,1	273,0***	10	33,3	13	33,3	465,0*
		0	0,0	1	4,3		0	0,0	1	2,6	
		0	0,0	1	4,3		0	0,0	2	5,1	
		22	78,6	15	65,2		20	66,7	21	53,8	
		0	0,0	0	0,0		0	0,0	2	5,1	
3. Enumera tipos de energía renovables que conozcas	a) Identifica varios tipos y entre ellos la biomasa b) Identifica varios tipos pero no la biomasa. c) Otras o NS/NC	21	82,1	3	13,0	119,0***	27	90,0	19	48,7	343,5***
		7	17,9	19	82,6		3	10,0	20	51,3	
		0	0,0	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
4. ¿Qué es la lluvia ácida?	a) Precipitaciones ácidas de volcán b) ácidos producidos por coches,... acumulados en atmósfera c) Precipitaciones ácidas por transformación gases + agua d) Precipitaciones ácidas por desertización e) Otras o NS/NC	0	0,0	0	0,0	210,5***	0	0,0	0	0,0	260,0***
		7	25,0	10	43,5		10	33,3	32	82,1	
		20	71,4	9	39,1		20	66,7	5	12,8	
		0	0,0	3	13,0		0	0,0	2	5,1	
		1	3,6	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
5. ¿es el ozono siempre beneficioso?	a) Si, previene rayos UV b) No, puede ser contaminante c) Si, es oxígeno para respirar d) No, el de laboratorio. e) Otras o NS/NC	6	21,4	16	69,6	151,5***	5	16,7	17	43,6	278,0***
		21	75,0	5	21,7		23	76,7	10	25,6	
		0	0,0	0	0,0		0	0,0	3	7,7	
		1	3,6	0	0,0		1	3,3	6	15,4	
		0	0,0	2	8,7		1	3,3	3	7,7	

TABLA 4.11 (1/2)

TMA			FASE I				FASE II							
			GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney		
			Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%			
6. ¿A qué agente es debido principalmente el efecto invernadero?	a)	Aumento CO₂ FASE I	a)	Aumento CO₂ FASE II	25	89,3	18	78,3	282,0	30	100,0	28	71,8	484,0***
	b)	Aumento óxidos de S	b)	Aumento óxidos de S	2	7,1	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
	c)	Aumento óxidos de N	c)	Aumento óxidos de N	0	0,0	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
	d)	Aumento óxidos de N y S	d)	Aumento óxidos de N y S	1	3,6	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	-----		e)	Aumento CFCs	-	-	-	-		0	0,0	6	15,4	
	e)	Otras o NS/NC	f)	Otras o NS/NC	0	0,0	4	17,4		0	0,0	3	7,7	
7. ¿Por qué los ecologistas están en contra de quemar carbón?	a)	Espacio e impacto visual			0	0,0	0	0,0	288,0	1	3,3	15	38,5	248,5***
	b)	Es fuente limitada (fósil)			4	14,3	6	26,1		3	10,0	8	20,5	
	c)	Gases más tóxicos que gasoil.			22	78,6	14	60,9		26	86,7	13	33,3	
	d)	Es mas caro que la madera			0	0,0	1	4,3		0	0,0	2	5,1	
	e)	Otras o NS/NC			2	7,1	2	8,7		0	0,0	1	2,6	
8. ¿Qué efecto produce el aumento CO ₂ en planeta?	a)	Calentamiento climático			28	100,0	18	78,3	261,0**	29	96,7	34	87,2	527,5*
	b)	Enfriamiento, deshielo polos			0	0,0	2	8,7		1	3,3	1	2,6	
	c)	Disminución humedad			0	0,0	1	4,3		0	0,0	0	0,0	
	d)	Aumento humedad ambiente			0	0,0	0	0,0		0	0,0	1	2,6	
	e)	Otras o NS/NC			0	0,0	2	8,7		0	0,0	3	7,7	
9. ¿A qué se debe el mal funcionamiento de las calderas?	a)	Formación metano			0	0,0	2	8,7	177,0***	0	0,0	3	7,7	(417,0*)
	b)	Combustión incompleta genera CO			27	96,4	12	52,2		23	76,7	18	46,2	
	c)	Acumulación CO ₂			1	3,6	2	8,7		1	3,3	6	15,4	
	d)	Desprendimiento cobre			0	0,0	4	17,4		5	16,7	6	15,4	
	e)	Otras o NS/NC			0	0,0	3	13,0		1	3,3	6	15,4	
10. Al quemar residuos agrícolas se obtiene E pero se desprende CO ₂ ¿Cómo afecta al medio ambiente?	a)	Deforestación			0	0,0	0	0,0	250,5*	0	0,0	3	7,7	462,0*
	b)	Aumento efecto invernadero por aumento CO ₂			13	46,4	7	30,4		14	46,7	18	46,2	
	c)	No aumenta efecto invernadero, no hay aumento neto de CO₂			15	53,6	11	47,8		15	50,0	14	35,9	
	d)	Disminución capa de ozono			0	0,0	1	4,3		1	3,3	0	0,0	
	e)	Otras o NS/NC			0	0,0	4	17,4		0	0,0	4	10,3	

TABLA 4.11. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP y GCON EN LA PRUEBA FINAL SOBRE CONCEPTOS MEDIOAMBIENTALES. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***p<0,001, **p<0,01 *p<0,05). Los datos entre paréntesis indican que no se pueden considerar por falta de homogeneidad de los grupos en el momento inicial de la investigación.

Como se desprende de los resultados y en la totalidad de las cuestiones comparadas para la fase II, el GEXP es significativamente mejor en sus respuestas que el correspondiente GCON. En la fase I en tres cuestiones, C1, C6 y C7, no existen diferencias significativas entre los grupos como para considerarlos no homogéneos. En la C1, aunque la totalidad de los alumnos experimentales reconoce el concepto de biomasa, también un 96% del GCON lo hace. En el caso del efecto invernadero un 90% frente a un 78% y en el caso de la utilización del carbón como combustible un 79% frente a un 61%. Precisamente dos de estos tres ítems son los que en el apartado anterior no presentaban cambios significativos en el GEXP, por ser conceptos que ya reconocían de forma mayoritaria al comienzo de la investigación. Es pues lógico que si el GCON es homogéneo con el GEXP en sus respuestas en el momento inicial, con un porcentaje elevado de aciertos, la diferencia final entre ambos grupos no sea muy abultada.

La C9, para la fase II en el momento inicial, aparece entre paréntesis pues es una cuestión en la que los grupos no presentan homogeneidad inicial, al ser el GCON estadísticamente mejor en sus respuestas iniciales al GEXP. Sin incluirlo en el análisis se puede referir que aún partiendo de peores resultados, el GEXP ha logrado aprendizajes significativamente mejores que el GCON. La situación de partida era estadísticamente desfavorable para el grupo experimental y, aún así consiguen diferencias significativas a su favor en el momento final.

A la vista del estudio realizado se puede manifestar que:

Para la fase II se produce un cambio conceptual en relación a todos conceptos de medioambiente abordados a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON. Para la fase I se produce cambio en todos los conceptos menos en los de biomasa, efecto invernadero y contaminación por carbón natural.

4.4.5 CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 3.5 RELATIVA A LA PERSISTENCIA EN EL TIEMPO DEL CAMBIO CONCEPTUAL DEL GEXP SOBRE REACCIONES QUÍMICAS

La última de las subhipótesis relativas a los cambios conceptuales se refiere a la suposición de que el cambio conceptual producido en el grupo

experimental, debido al aprendizaje con la MRPI, persiste en el tiempo sin sufrir un retroceso estadísticamente significativo.

Para contrastar este hecho se comparan las respuestas de los alumnos del grupo experimental en el test de conceptos sobre reacciones químicas en el momento final del proceso de enseñanza aprendizaje (TQ_{FIN}) y los datos del mismo grupo y, para el mismo test, tras el periodo vacacional estival, transcurridos unos cuatro meses y previo al comienzo del nuevo curso académico. Con ello se pretende que trascorra el máximo tiempo posible pero que no tomen contacto con los contenidos de química del nuevo curso. Los datos se analizan mediante el test de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon. La hipótesis nula es que los resultados en ambos momentos son homogéneos, frente a la alternativa de que sean significativamente peores al cabo del tiempo. Los resultados obtenidos se registran en la tabla 4.12.

Sólo se contrasta la persistencia de los conceptos sobre reacciones químicas y no los referidos a cuestiones medioambientales por considerar que la influencia de factores externos en esos temas es más propicia que la de los primeros, que rara vez aparecen en medios de comunicación.

La muestra se ve reducida en el número de alumnos para el caso de la fase II. Alguno no puede realizar la prueba de septiembre, por no encontrarse en el centro en ese momento o por haber cambiado de centro escolar. Así, para aplicar el estadístico que compara los resultados alumno por alumno, se deben retirar los cuestionarios de dichos alumnos, en concreto seis. Por ello en la tabla 4.12 los alumnos estudiados en la fase II pasan a ser veinticuatro.

Se observa que todas las cuestiones presentan resultados estadísticamente homogéneos en los dos momentos de la investigación. Tras cuatro meses sin revisión académica de los conceptos no se ha producido ningún retroceso significativo en los aprendizajes estudiados. Por tanto se puede apuntar que:

El cambio conceptual sobre reacciones químicas producido en el GEXP, debido al aprendizaje con la MRPI, persiste en el tiempo sin sufrir un retroceso estadísticamente significativo.

	TQ _{FIN I}		GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ _{FIN II}		GEXP (24 alumnos)				Wilconxon
			FINAL		SEPTIEMBRE					FINAL		SEPTIEMBRE		
			Nº	%	Nº	%				Nº	%	Nº	%	
PROCESO FÍSICO Y QUÍMICO	1. ¿Qué le pasa al alcohol cuando se quema?	a) Cambia de estado b) Se transforma en calor c) En otras sustancias d) Desaparece e) Otras o NS/NC	0 0 28 0 0	0,0 0,0 100,0 0,0 0,0	4 5 19 0 0	14,3 17,9 67,9 0,0 0,0	0,30***	1. Ídem	Ídem	0 0 23 1 0	0,0 0,0 95,9 4,2 0,0	0 5 19 0 0	0,0 20,9 79,2 0,0 0,0	-1,37***
								2. Se calienta un tubo con sólido amarillo y se observa vapores incoloros y liquido plateado ¿Qué ha ocurrido?	a) R. Química, explica bien b) R. Química, explicación incompleta c) R. Química explicación mal d) Indica proceso físico e) Otras o NS/NC	9 8 0 4 3	37,5 33,4 0,0 16,7 12,5	6 5 6 3 4	25,0 20,9 25,0 12,5 16,7	
CONSERVACIÓN DE LA MASA	3. Se calientan 6g de Mg hasta que se forma un polvo blanco. Se observa m= 10g. ¿Por qué la m ha aumentado?	a) Oxígeno mezclado b) Mg se expande c) Imposible, m se conserva. d) Mg reacciona con O₂ e) Mg gana calor f) Otras o NS/NC	5 0 3 19 1 0	17,9 0,0 10,7 67,9 3,9 0,0	4 0 11 13 0 0	14,3 0,0 39,3 46,4 0,0 0,0	0,51***	3. Se coloca estropajo de hierro en un plato Q de una balanza, se equilibra. Se quema y se vuelve a pesar ¿qué ocurre en la balanza?	a) Se inclina hacia lado P b) Se inclina hacia lado Q c) Se quedan equilibrados d) No tengo datos suficientes e) Otras o NS/NC	19 2 3 0 0	79,2 8,3 12,5 0,0 0,0	14 6 2 2 0	58,4 25,0 8,3 8,3 0,0	0,54***
								4. Un coche con 50kg de gasolina, tras vaciarlo ¿qué masa será la de los gases del tubo de escape?	a) más de 50kg b) 50kg c) menos de 50kg d) no tengo información e) Otras o NS/NC	20 4 0 0 0	83,4 16,7 0,0 0,0 0,0	18 2 3 0 1	75,1 8,3 12,5 0,0 4,2	

TABLA 4.12 (1/4)

	TQ _{FIN} I		GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ _{FIN} II		GEXP (24 alumnos)				Wilconxon
			FINAL		SEPTIEMBRE					FINAL		SEPTIEMBRE		
			Nº	%	Nº	%				Nº	%	Nº	%	
REPRESENTACIONES MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	6. Representa un recipiente lleno de CO ₂	1. Bien 2. Mal o NS/NC	26 2	92,9 7,1	26 2	92,9 7,1	0,0***	5. Identificación de diagramas de elemento, compuesto y mezcla	a) Identifican los 4 b) Identifican 3 c) Identifican 2 d) Identifican 1 e) Mal todas o NS/NC	17 6 1 0 0	70,9 25,0 4,2 0,0 0,0	16 5 1 0 2	66,7 20,9 4,2 0,0 8,3	-0,90***
	7. Representa: N ₂ (g)+3H ₂ (g)→2NH ₃ (g)	a) Bien, múltiple y con exceso b) Bien múltiple c) Bien, según coeficientes d) Mal estequiometría e) Mal moléculas, etc. o NS/NC	9 3 10 5 1	32,1 10,7 35,7 17,6 3,6	6 7 11 3 1	21,4 25,0 39,3 10,7 3,6	-1,62***	6.Ídem	a) Bien, múltiple y con exceso b) Bien múltiple c) Bien, según coeficientes d) Mal estequiometría e) Mal moléculas, etc. o NS/NC	15 1 7 0 1	62,6 4,2 29,2 0,0 4,2	12 2 9 0 1	50,0 8,3 37,5 0,0 4,2	1,58**
	8. Juntamos el Cl ₂ y H ₂ de dos matraces en uno para producir HCl. ¿Qué matraz representa la reacción?	a) Matraz 1 (reacción solo coeficientes) b) Matraz 2 (reac. sin exceso) c) Matraz 3 (mal moléculas) d) Matraz 4 (reacción con exceso) e) NS/NC	3 4 0 21 0	10,7 14,3 0,0 75,0 0,0	1 3 6 18 0	3,6 10,7 21,4 64,3 0,0	-0,81***	7. Ídem	a) Matraz 1 (reacción solo coeficientes) b) Matraz 2 (mezcla) c) Matraz 3 (reac. sin exceso) d) Matraz 4 (mal moléculas) e) Matraz 5 (reacción con exceso) f) NS/NC	0 0 1 2 21 0	0,0 0,0 4,2 8,3 87,6 0,0	0 0 0 3 21 0	0,0 0,0 0,0 12,5 87,6 0,0	-2,00***
	12.Observa los gráficos y escribe la ecuación que representa la reacción entre ellos.	a) X+2Y→ Y ₂ X b) X₂ +Y→ XY₂ y b) ajustada c) 2X +1/2Y ₂ →YX ₂ d) X+Y→ YX e) 2X+Y ₂ → Y ₂ X + X f) Otras o NS/NC	2 22 0 0 2 2	7,1 78,6 0,0 0,0 7,1 7,1	2 25 0 0 0 1	7,1 89,3 0,0 0,0 0,0 3,6	-3,57**	8. Identificar la reacción entre X e Y (Ídem pero sin opciones , abierta)	a) Bien, con ajuste b) Bien, pero estequiometría múltiplo, cuenta c) Bien moléculas no ajuste o mal d) Mal, cuenta moléculas+exceso e) Mal especies químicas NS/NC	10 7 5 2 0	41,7 29,2 20,9 8,3 0,0	11 2 3 7 1	45,9 8,3 12,5 29,2 4,2	0,31***

TABLA 4.12 (2/4)

	TQ _{FIN I}		GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ _{FIN II}		GEXP (24 alumnos)				Wilconxon
			FINAL		SEPTIEMBRE					FINAL		SEPTIEMBRE		
			Nº	%	Nº	%				Nº	%	Nº	%	
RELACIONES ESTEQUIOMÉTRICAS . REACTIVO LIMITANTE.	2. ¿Se puede formar N ₂ O ₅ con cantidades iguales de N ₂ y O ₂ ?	a) No, necesito más O b) Sí, si condiciones c) No, N ₂ O ₂ o NO d) Sí, si no explotan. e) Otras o NS/NC	1 24 2 0 1	3,6 85,7 7,1 0,0 3,6	10 17 1 0 0	35,7 60,7 3,6 0,0 0,0	0,09***	9 Ídem	Ídem	2 15 2 3 2	8,3 62,6 8,3 12,5 8,3	2 13 4 2 3	8,3 54,2 16,7 8,3 12,5	0,00***
	4. Cuántos moles NH ₃ a partir de 12 mol de H ₂ según: N ₂ + 3H ₂ →2NH ₃	a) Bien b) Mal (otras) o NS/NC	24 4	85,7 14,3	20 8	71,4 28,6	-1,84***							
	5. La formación de metano C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si 100g C reaccionan con exceso H ₂ , ¿ cuál es masa de CH ₄ ?	a) 100g ,la relación 1:1 b) Más de 100g, el metano... c) Menos de 100g , es gas. d) La suma inicial C + H ₂ e) Otras o NS/NC	5 15 4 1 3	17,9 53,6 14,3 3,6 10,7	1 11 1 11 4	3,6 39,3 3,6 39,3 14,3	-0,71***	10.. La formación de metano: C(s)+2H ₂ (g)→CH ₄ (g) .Si tengo de 100g de C reaccionan con un exceso de H ₂ , ¿cuándo concluye la reacción?	Cuando... a) Obtengo 100g de metano b) Se gastan 100g C y 200 H c) Se gasta el carbono. d) Ambos reactivos se agotan e) Otras o NS/NC	0 0 22 0 2	0,0 0,0 91,7 0,0 8,3	0 0 22 0 2	0,0 0,0 91,7 0,0 8,3	0,00***
COMBUSTIÓN	10. Cuando algún combustible arde se produce:	a) Siempre agua y CO ₂ b) Siempre agua c) Siempre CO ₂ d) Distintas sustancias e) Otras o NS/NC	1 0 0 27 0	3,6 0,0 0,0 96,4 0,0	9 0 3 16 0	32,1 0,0 10,7 57,1 0,0	0,74***	11. Ídem	Ídem	4 0 0 19 1 0	16,7 0,0 0,0 79,2 1,2 0,0	6 0 1 16 1 0	25,0 0,0 4,2 66,7 4,2 0,0	-1,30***

TABLA 4.12 (3/4)

TQ _{FIN I}			GEXP (28 alumnos)				Wilconxon	TQ _{FIN II}			GEXP (24 alumnos)				Wilconxon
			FINAL		SEPTIEMBRE						FINAL		SEPTIEMBRE		
			Nº	%	Nº	%					Nº	%	Nº	%	
ENERGÍA DE ENLACE. BALANCE ENERGÉTICO	9. Qué tipo de reacción es la combustión?	a) Endotérm. consume E b) Exotérm., espontánea c) Endotérmica, E inicial d) Exotérm. desprende E e) Otra o NS/NC	0 0 0 28 0	0,0 0,0 0,0 100,0 0,0	1 0 1 26 0	3,6 0,0 3,6 92,9 0,0	-3,76***	12. las reacciones de combustión... ¿Son siempre exotérmicas?	a) Si, siempre b) Sólo si hay llama c) No, endotérmica (inicio) d) Sólo si desprende gases e) Otras o NS/NC	19 0 3 0 2	79,2 0,0 12,5 0,0 8,3	19 0 4 0 1	79,2 0,0 16,7 0,0 4,2	-1,98***	
	11. El oxígeno que interviene en una combustión ¿Posee energía química?	a) Si, elemento químico b) No, inorgánica c) Si, tiene enlaces. d) No, no es combustible e) Otras o NS/NC	1 0 27 0 0	3,6 0,0 96,4 0,0 0,0	3 0 25 0 0	10,7 0,0 89,3 0,0 0,0	-2,4***	13. En una cocina quemamos butano en presencia de oxígeno ¿papel del oxígeno con E?	a) Libera E “almacenada” b) O ₂ no tiene E (inorgánica) c) E balance de ruptura y formación de enlaces d) Por romper enlaces... e) Otra o NS/NC	1 0 17 3 1 2	4,2 0,0 70,9 12,5 4,2 8,3	6 0 12 6 0 0	25,0 0,0 50,0 25,0 0,0 0,0	-1,57***	
ENERGÍA , CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA	13. Escribe tres palabras y frases relacionadas con la energía	a) tres b) dos c) una d) cero	1 0 1 26	3,6 0,0 3,6 92,9	28 0 0 0	100,0 0,0 0,0 0,0	-3,5***	14. Ídem	Ídem	20 3 1 0	83,4 12,5 4,2 0,0	21 1 0 2	87,6 4,2 0,0 8,3	0,0***	
	14. ¿Se conserva realmente toda la energía en cualquier proceso?	a) No, se degrada. b) Sí, si no pierde calor. c) Unas si, otras no d) Sí, siempre e) No, se transforma. f) No, hay consumo de E g) Otras o NS/NC	3 1 2 20 1 0 1	10,7 3,6 7,1 71,4 3,6 0,0 3,6	8 2 0 12 2 3 1	28,6 7,1 0,0 42,9 7,1 10,7 3,6	1,17***	15. Ídem	a) No, se degrada. b) Sí, no si desprende calor. c) No, solo las renovables d) Sí, en cualquier proceso e) No, porque se transforma. f) Otras o NS/NC	1 0 20 1 2 0	4,2 0,0 83,4 4,2 8,3 0,0	4 3 0 14 2 0	16,7 12,5 0,0 58,4 8,3 0,0	-0,30***	
	15. ¿Qué quiere decir que la energía se degrada?	a) Se va perdiendo b) Pasa a E menos útil c) Pasa a E contaminante d) Pierde calidad, riqueza e) Otras o NS/NC	1 12 0 15 0	3,6 42,9 0 53,6 0,0	3 14 0 10 1	10,7 50,0 0,0 35,7 3,6	-2,41***	16.Ídem	a) Se va perdiendo b) Da E no deseables c) obtienen E contaminantes d) Pierde riqueza e) Otras o NS/NC	1 17 0 5 1	4,2 70,9 0,0 20,9 4,2	2 17 0 4 1	8,3 70,9 0,0 16,7 4,2	0,0***	

TABLA 4.12. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP EN LA PRUEBA FINAL SOBRE CONCEPTOS DE REACCIONES QUÍMICAS EN EL MOMENTO FINAL Y EN SEPTIEMBRE (TRAS CUATRO MESES). Los valores en negrita del estadístico apoyan la hipótesis nula de homogeneidad en ambos momentos (** $p > 0,1$, ** $p > 0,05$, * $p > 0,01$).

4.5. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 4 RELATIVA AL CAMBIO ACTITUDINAL HACIA EL MEDIOAMBIENTE EN LOS GEXP Y GCON

Una vez concluido el estudio del cambio conceptual y de procedimientos logrado en los alumnos de las muestras objeto de estudio, queda por realizar un análisis del posible cambio que se haya producido en los alumnos en cuanto a las actitudes hacia el medioambiente.

4.5.1. CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 4.1 RELATIVA AL CAMBIO ACTITUDINAL HACIA EL MEDIOAMBIENTE DEL GEXP

La dificultad en el estudio de las actitudes hace que a lo largo de la investigación se detectasen nuevas necesidades y se modificasen los instrumentos de recogida de datos. Así, se realizan tres estudios actitudinales diferentes: el primero analiza los resultados en la prueba TACT1 para ambas fases, el segundo utiliza para la contrastación de la hipótesis el TACT2 para fase I como pretest y posttest, y el tercero utiliza el TACT2 como pretest y TACT3 como posttest para la fase II (los instrumentos se mostraban en el apartado 2.8.3.1, pp. 118-121).

Primer estudio:

En este caso para analizar los datos recogidos en el TACT1 de ambas fases se utiliza el test de rangos señalados y pares igualados de Wilconxon. La hipótesis nula del estadístico es que los resultados antes y después del aprendizaje realizado siguiendo la MRPI son homogéneos frente a la alternativa, que sean estadísticamente mejores al final. Los datos se presentan en la tabla 4.13.

TACT1		FASE I GEXP (28 alumnos)					FASE II GEXP (30 alumnos)				
		INICIAL		FINAL		Wilconxon	INICIAL		FINAL		Wilconxon
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. Problemas de la sociedad actual que te preocupan más	a) Menciona cuestiones ambientales	10	35,7	27	96,4	3,20***	5	16,7	19	63,3	2,19**
	b) No menciona cuestiones ambientales	17	60,7	1	3,6		25	83,3	10	33,3	
	c) NS/NC	1	3,6	0	0,0		0	0,0	1	3,3	
2. ¿Qué considerarías al elegir combustible?	a) Menciona consideraciones ambientales	16	57,1	26	96,4	1,44*	19	63,3	24	80,0	-1,10
	b) No referencias medioambientales	8	28,6	2	3,6		11	36,7	6	20,0	
	c) Otras o NS/NC	4	14,3	0	0,0		0	0,0	0	0,0	

TABLA 4.13. RESULTADOS OBTENIDOS EN AMBAS FASES PARA GEXP EN EL PRIMER ESTUDIO ACTITUDINAL SOBRE MEDIOAMBIENTE CON LA PRUEBA TACT1. Los valores en negrita del estadístico apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que en el inicial. (******* $p < 0,001$, ****** $p < 0,01$, ***** $p < 0,05$)

Para el análisis estadístico, solo se considera si nombran cuestiones medioambientales en sus respuestas o no, sin tener en cuenta el orden en que aparece en éstas.

Así, se observa como en la fase I, para la primera cuestión sobre sus preocupaciones respecto a la sociedad en la que vive, inicialmente solo un 36% de los estudiantes nombra problemas medioambientales mientras que en el momento final de la investigación, 27 de los 28 alumnos (96%), nombran cuestiones ambientales. En la fase II se pasa de un 17% a un 63%. En ambos casos el cambio es estadísticamente significativo.

Para completar la información se comentan a continuación las respuestas de los alumnos. En la fase I, casi un 80% declara que el terrorismo es una de sus principales preocupaciones, nombrándolo la mayoría en primer o segundo lugar. Las demás respuestas son muy diversas, refiriéndose a la pobreza en el mundo, las drogas o el racismo (20-30%), la violencia doméstica (15%) y, el resto (un 3-7%) señala opciones minoritarias como sus calificaciones, el sida, la inmigración, las armas nucleares o la educación de los niños. En la misma fase, en el momento final de la investigación, 27 de los 28 alumnos (96%) nombran cuestiones ambientales, incluso alguno de ellos varias diferentes. Además explicitan

más sus respuestas, manifestando preocupaciones como la falta de ahorro energético, la búsqueda de energías renovables, la conservación del medioambiente, el cambio climático, etc. mientas en el momento inicial indican generalidades como el medioambiente o la contaminación (excepto un alumno que se refiere al calentamiento global).

En el caso de la fase II, la dispersión de las respuestas es mayor. En el momento inicial el 17% nombra cuestiones ambientales y entre el resto de las preocupaciones sugeridas se encuentran las guerras (43%), terrorismo (23%), educación (13%), maltrato (13%) y, por debajo de ellas, con un porcentaje total menor de un 10%, aparecen múltiples opciones como emigración, asesinatos, paro, política, sociedad, futuro, etc. En el momento final, en esta fase, un 63% de estudiantes nombra cuestiones ambientales (contaminación, protección de especies, efecto invernadero, etc.) y también, como ocurría en la fase I, algunos de ellos en varias de sus opciones. Se pueden observar algunos ejemplos de estos cambios en el cuadro 4.24.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C1 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C1 TEST FINAL
<i>GEXP-A25 FI</i>	<i>"1-Terrorismo, 2- Las drogas, 3- El racismo".</i>	<i>"1-Terrorismo, 2- La no utilización de energías renovables, 3- El poco ahorro de energía de cada uno, 4- Violencia".</i>
<i>GEXP-A1 FI</i>	<i>"1-Terrorismo y violencia 2- El tercer mundo".</i>	<i>"1-Terrorismo, 2-Violencia, 3- Encontrar la solución a la búsqueda de las energías renovables".</i>
<i>GEXP-A22 FII</i>	<i>"1- El terrorismo".</i>	<i>"1-Terrorismo, 2-cambio climático 3-extinción de especies, 4-globalización".</i>
<i>GEXP-A24 FII</i>	<i>"1-Argentina, 2-Israel-Palestina 3-Afganistán".</i>	<i>"1-Energía 2-contaminación, 3- guerra, 4-sociedad".</i>

CUADRO 4.24. EJEMPLOS DE CAMBIOS TRAS EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DEL ESTUDIANTE ACERCA DE LAS PREOCUPACIONES SOCIALES DE LOS GEXP.

Para la segunda cuestión sobre la elección de un combustible para el propio uso doméstico, se contempla un cambio estadísticamente significativo de actitudes para los estudiantes del GEXP de la fase I. Al comienzo, un 7% señala el tipo de combustible utilizado (el gas natural, carbón, gasolina o butano) y ninguno nombra energías renovables. En el postest los alumnos que especifican el tipo de combustible sólo escogen energías renovables (37%). En el momento inicial, el 57% de los alumnos expresan, por igual, razones tanto económicas como ambientales "que no contamine y sea barato". En el momento final las razones siguen equiparadas pero el porcentaje de ambas asciende al 87%(contaminación) y

80% (economía). Inicialmente los alumnos sólo hablan de que no debe contaminar, sin especificar el combustible elegido, mientras al final además de señalar mayoritariamente (87 %) la necesidad de no contaminar, el 37% de los alumnos especifican que elegirían energías renovables. Otra diferencia es que, en el momento inicial, el resto de las opciones minoritarias son muy dispersas como “tiempo que tarda en quemarse, que no explote, sea útil, caliente lo suficiente, sea duradero, etc.”; sin embargo, en el momento final las explicaciones dadas reflejan razonamientos más técnicos, incluyendo conceptos como poder calorífico (10%), una rápida combustión, eficacia, densidad del combustible, el rendimiento, etc.

Para esta cuestión C2 en la fase II, el punto de partida sobre la preocupación ambiental es muy alto (63%) y aunque al final del proceso de enseñanza aprendizaje sube bastante las respuestas de los alumnos en sentido favorable (a un 80%) no existen diferencias estadísticamente significativas. En el cuadro 4.25 se recogen algunos ejemplos de la variación en las respuestas iniciales y finales de los alumnos.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C2 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C2 TEST FINAL
<i>GEXP-A23 FI</i>	<i>“1-Carbón, 2-Butano 3- Gas Natural”.</i>	<i>“1-Económico, 2- No contamine 3- Inagotable”.</i>
<i>GEXP-A26 FI</i>	<i>“1-Que no sea tóxico, 2-Que se expanda bien”.</i>	<i>“1-Que no sea tóxico, 2- Que sea renovable, 3-Que no produzca efecto invernadero, lluvia ácida, etc.”.</i>
<i>GEXP-A16 FII</i>	<i>“1-El precio, 2-El servicio, 3- La contaminación”.</i>	<i>“1-Que contamine lo menos posible, 2- Que tenga bastante aporte de energía, 3- que no sea muy cara”.</i>
<i>GEXP-A7 FII</i>	<i>“1-Que sea cómodo de utilizar 2-Que sea bueno, 3- Que sea barato”.</i>	<i>“1-El rendimiento, 2-El precio,3- Su contaminación”.</i>

CUADRO 4.25. EJEMPLOS DE RESPUESTAS EN RELACIÓN SOBRE ELECCIÓN DE COMBUSTIBLE EN LOS GEXP.

Segundo estudio:

Para la fase I, además del estudio anterior, se cuenta con otro análisis adicional sobre actitudes utilizando el test TACT2 como pretest y postest. Los resultados se muestran en la tabla 4.14. Se puede ver que en siete de los doce ítems existen diferencias significativas en el momento final a favor de una mejora en las actitudes del GEXP hacia cuestiones ambientales.

TACT 2		FASE I GEXP (28 alumnos)					
		INICIAL		FINAL		Wilconxon	
		Nº	%	Nº	%		
1. Podemos utilizar combustibles fósiles, cuando se agoten las reservas ya habrá otras energías *.	NC (3 para INI, 2 para FIN)) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 3 12 3 6 3	3,6 10,7 42,9 10,7 21,4 10,7	1 11 11 2 1 2	3,6 39,3 39,3 7,1 3,6 7,1	1,80**	
2. Uso luz eléctrica en vez de luz solar sin necesidad*.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 5 1 4 17	3,6 17,9 3,6 14,3 60,7	2 6 1 3 16	7,1 21,4 3,6 10,7 57,1	-1,83	
3. Reciclas a diario.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	2 1 1 7 17	7,1 3,6 3,6 25,0 60,7	0 2 3 9 14	0,0 7,1 10,7 32,1 50,0	0,00	
4. Se debería multar a los que no reciclan.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 6 11 7 4	0,0 21,4 39,3 25,0 14,3	0 1 6 16 5	0,0 3,6 21,4 57,1 17,9	1,67**	
5. Control medioambiental para empresas o industrias por parte del estado pero no para particulares *.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	6 6 7 8 1	21,4 21,4 25,0 28,6 3,6	7 14 4 2 1	25,0 50, 14,3 7,1 3,6	1,36*	
6. Prohibir instalaciones contaminantes como calderas de carbón aunque cambiarlas suponga a esa persona mucho dinero.	NC (3 para FIN)) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 1 4 11 8 4	0,0 3,6 14,3 39,3 28,6 14,3	1 1 4 6 15 1	3,6 3,6 14,3 21,4 57,6 3,6	6,0	
7. En España debemos seguir utilizando el carbón aunque contamine más por subsistencia de la minería del norte *.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 13 10 3 1	3,6 46,4 35,7 10,7 3,6	5 15 6 0 2	17,9 53,6 21,4 0,0 7,1	213,0**	
8. Se debería disminuir la velocidad de los coches hasta gasto de combustible mínimo aunque perjudique nuestro ritmo de vida.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	6 11 5 5 1	21,4 39,3 17,9 17,9 3,6	5 8 4 7 4	17,9 28,6 14,3 25,0 14,3	1,44*	
9. Instalaría una caldera más contaminante si es más barata por economía familiar. *	NC (3 para FIN) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 1 7 13 5 2	0,0 3,6 25,0 46,4 17,9 7,1	1 0 8 9 10 0	3,6 0,0 28,6 32,1 35,7 0,0	-1,23	
10. Se debería subvencionar instalaciones solares aunque sea aumentando los impuestos.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 2 10 11 5	0,0 7,1 35,7 39,3 17,9	1 0 1 14 12	3,6 0,0 3,6 50,0 42,9	2,59***	
11. Las empresas que producen residuos agrícolas deberían utilizar esos residuos para obtener energía para su instalación.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 0 8 9 10	3,6 0,0 28,6 32,1 35,7	0 0 0 5 23	0,0 0,0 0,0 17,9 82,1	2,20***	
12. El estado debería destinar dinero de los presupuestos para investigar en energías renovables aún a costa de aumentar los impuestos.	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 3 10 12 3	0,0 10,7 35,7 42,9 10,7	1 3 5 10 9	3,6 10,7 17,9 35,7 32,1	0,49	

TABLA 4.14. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP FASE I EN LA PRUEBA TACT2 SOBRE ACTITUDES SOBRE MEDIOAMBIENTE. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que en el inicial (**p<0,001, *p<0,01 *p<0,05). Entre paréntesis aparece el valor medio asignado en el estadístico a la respuesta NC.

Efectivamente, se produce un cambio de actitud respecto a la no utilización del petróleo y el carbón como fuente de energía (C1 y C7), al uso de residuos en las empresas como energía renovable (C11), al posicionamiento personal ante actuaciones que favorezcan el ahorro de combustible (C8), o a la necesidad de intervención del estado estableciendo multas, controles, subvenciones (C4, C5, C10).

En cuanto a las cinco cuestiones (C2, C3, C6, C9 y C12) que no muestran diferencias estadísticamente significativas se sugieren diversas razones posibles que se comentan a continuación. Para las cuestiones C2 y C3, al analizar las respuestas de algunos alumnos que responden negativamente se observa que no lo hacen porque no quieren reciclar o utilizar la luz de forma adecuada, sino que responden en base a un hábito personal valorando que podrían hacerlo mejor de lo que lo hacen, dando muestras en sus comentarios de que realmente si ha habido un cambio de actitud. Sin embargo, en el momento inicial, muchos de estos alumnos no eran tan críticos consigo mismos y si no reciclaban o no apagaban la luz no criticaban tanto su postura. No es pues una negación sino una reafirmación de que se debe hacer más y la valoración es realmente positiva aunque numéricamente refleje lo contrario.

Así, cuando en la C2 se les pregunta por la utilización de la luz solar, se produce en muchos casos una contradicción entre la opción seleccionada y la explicación correspondiente. Por ejemplo, cuando manifiestan que utilizan la luz eléctrica aunque no sea necesario, afirman que lo que se debería hacer es utilizar más la luz solar, asumiendo la buena conducta ambiental. No quieren decir que estén de acuerdo en derrochar la luz eléctrica, pero sus valoraciones numéricas conducen a error. A continuación se muestran algunos ejemplos, en ese sentido, de alumnos que puntúan negativamente:

“Se tendría que aprovechar toda la energía solar posible ya que es mejor que la eléctrica y se ahorra mucha energía” (GEXP-A24-FI-FIN)

“Es necesario que usemos más la luz solar puesto que es una fuente de energía renovable y la eléctrica no” (GEXP-A14-FI-FIN)

De igual forma, para la C3, disminuye el número de respuestas que afirman estar de acuerdo en el hábito del reciclaje respecto al momento inicial, pero en sus explicaciones también aparece una inconsistencia

refiriéndose a lo que hace el entorno y no a sus hábitos, como recogen los ejemplos del cuadro 4.26.

ALUMNO	CONTESTACIÓN C3 TEST INICIAL	CONTESTACIÓN C3 TEST FINAL
<i>GEXP-A12 FI</i>	<i>“4- De acuerdo. Alguna vez el papel, latas, etc. lo echo en bolsas distintas de la basura normal pero no lo hago casi nunca”.</i>	<i>“3- Indiferente. El papel lo suelo reciclar, pero por ejemplo el vidrio no porque no utilizo muchas cosas de cristal. Sé que deberíamos reciclar todo porque son muy útiles por ejemplo para obtener energía”.</i>
<i>GEXP-A26 FII</i>	<i>“5-Muy de acuerdo. Siempre reciclo ya que creo que no nos cuesta nada más que un poco de tiempo (2 segundos) y preocupación”.</i>	<i>“4-De acuerdo. Me parece estupendo que en todas las familias existiera ese productísimo contenedor amarillo o ese de vidrio y el antiquísimo, pero no por eso peor, contenedor de basuras orgánico”.</i>

CUADRO 4.26. EJEMPLOS DE CAMBIOS LA ACTITUD HACIA LA NECESIDAD DE RECICLAR EN EL GEXP-FASE I

En cuanto a las otras dos cuestiones, C6 y C9, parece que en ambos casos los estudiantes no quieren influir en una decisión de sus padres que puede afectar económicamente a su familia.

Así, aunque aproximadamente un 65% contesta que es necesario el cambio de caldera, hay un 21% de indecisos y un 18% que contesta negativamente a la posibilidad de prohibir el carbón en las calderas, si afectase económicamente a la persona. Muchos asumen que sería necesario pero que debería ser con subvenciones. Ejemplos de las respuestas dadas a la C6 son:

“Está bien que se exija pero no debe implicar la ruina económica de una familia que no puede” (GEXP-A15-FI-FIN).

“Estoy de acuerdo viéndolo en el sentido medioambiental pero por otra parte tendría que tener en cuenta si la persona no tiene mucho dinero y le supone muchos sacrificios” (GEXP-A12-FI-FIN).

“Estoy de acuerdo en que se debería sustituir las calefacciones altamente contaminantes, pero no cargar a los propietarios con todo el peso económico de sustituir este sistema, sino que debería subvencionarse” (GEXP-A1-FI-FIN).

Para la decisión de la instalación de una caldera ecológica en su casa (C9), esgrimen razones idénticas:

“Estoy en desacuerdo, aunque todos deberíamos colaborar en no contaminar, lo primero es la economía de la familia” (GEXP-A21-FI-FIN).

“Los presupuestos familiares suelen estar bastante ajustados y muchas familias no podrían cambiar su caldera, pero la cosa podría cambiar si se produjeran subvenciones para el cambio de caldera” (GEXP-A13-FI-FIN).

Para la C12 las razones de su negativa son también económicas, están de acuerdo en investigar en energías renovables pero no asumen que eso repercuta en su bolsillo:

“Es el problema de todo esto, el “dinero”, si todo el mundo tuviera dinero todo sería más fácil, porque hay personas que no tienen ni para comer con que para impuestos....” (GEXP-FI-FIN).

En general. las respuestas positivas son en general muy contundentes:

“Por supuesto que hay que empezar a movilizarse como sea a favor de las nuevas fuentes de energía inagotables y limpias” (GEXP-A26-FI-FIN).

“Todo lo que sea información para nuestra vida debe ser apoyado por todos, aunque suponga un pequeño esfuerzo económico” (GEXP-A4-FI-FIN).

“Si, porque es nuestro futuro y es cosa de todos. Es preferible pagar un poco más y vivir con tranquilidad que vivir en peligro” (GEXP-A12-FI-FIN).

Tercer estudio:

Para la fase II, además del primer estudio, se cuenta con otro análisis adicional sobre actitudes utilizando el test TACT3, pues como se ha indicado en el diseño de las pruebas, capítulo dos, se produjeron cambios en el estudio de las actitudes en las dos fases por necesidades de la investigación.

Ahora se pretende indagar más en las respuestas de los alumnos para evitar su posible mecanización. Para ello se diseña el test TACT3, consistente en tres preguntas abiertas según se mostró en el apartado 2.8.3.1 (cuadro 2.22, p. 121).

Para el análisis de las respuestas de los alumnos se elabora una red sistémica, teniendo en cuenta que las opciones no son exclusivas, pudiendo un mismo alumno repetir diferentes aspectos propuestos. En la tabla 4.15 se recogen sus respuestas, correspondiendo la "J" a las respuestas como jóvenes, la "E" a su posición como empresarios y la "P" a su visión como político.

	TEMÁTICAS PROPUESTAS	ALTERNATIVAS SUGERIDAS	OPCIÓN	GEXP	
				Nº	%
COMO JOVEN (J)	reciclar	Separar basuras	J1	23	76,7
		Hacer compost	J2	1	3,3
	No contaminar	Usar transporte público	J3	2	6,7
		Elegir energías renovables	J4	6	20,0
	Hábitos de buen consumidor	Ahorro/disminuir consumo	J5	9	30,0
		No comprar contaminante o no reciclable	J6	6	20,0
	Interaccionar socialmente	Convencer a la gente	J7	6	20,0
		manifestarse	J8	1	3,3
	Otras/NS oNC	No fumar, no tirar papeles, sancionar, etc.	J9	1	3,3
COMO EMPRESARIO (E)	Reciclar	Utilizar materiales reciclados o reciclables	E1	3	10,0
		Reciclar sus residuos	E2	14	46,7
	No contaminar	Evitar contaminar	E3	12	40,0
		No utilizar/fabricar contaminantes	E4	2	6,7
	Hábitos de buen consumidor	Ahorro/disminuir consumo de E	E5	2	6,7
	Utilizar energías renovables	Invertir o utilizar energías renovables	E6	11	36,7
		Utilizar sus residuos para su E renovable	E7	8	26,7
	Interaccionar socialmente	Invertir en investigación	E8	4	13,3
		Comunicar/convencer a otros empresarios	E9	2	6,7
	Otras/NS oNC	Poner papeleras, etc.	E10	1	3,3
COMO POLÍTICO (P)	Favorecer el reciclaje	Poner contenedores/papeleras	P1	1	3,3
		Premiar / subvencionar el reciclaje	P2	2	6,7
	No contaminar	Controlar emisiones y vertidos	P3	3	10,0
		Premiar/Invertir (depuradoras, ...)	P4	2	6,7
	Favorecer las E. renovables	Favorecer/subvencionar las Eren	P5	11	36,7
		Invertir en investigación	P6	2	6,7
		Utilizarlas en los medios públicos	P7	1	3,3
	Legislar	Sancionar	P8	9	30,0
		Controlar niveles de contaminantes	P9	7	23,3
	Interaccionar socialmente	Campañas concienciación, transporte público ,etc.	P10	5	16,7
		Formar consejo de sabios	P11	1	3,3
		Educar	P12	0	0,0
	Otras/NS oNC	Bajar sueldos, quitar coches, etc.	P13	1	3,3

TABLA 4.15. RED SISTÉMICA DE LOS RESULTADOS SOBRE ACTITUDES DE LA PRUEBA FINAL TACT3 PARA EL GEXP DE LA FASE II . SIMBOLOGÍA: { ASPECTOS PARALELOS, POSIBLE ELECCIÓN SIMULTÁNEA.

Los alumnos al enfrentarse a estas cuestiones abiertas muestran cierto desconcierto inicial pero después responden de forma extensa. Es importante recordar de nuevo que estos test se pasan en horas de tutoría por otro profesor para que los alumnos no consideren que se preguntan aspectos de una asignatura ni crean que son evaluables dentro de ésta.

A continuación se analizan las contestaciones de los alumnos. Sus producciones son en general amplias, por ello en ciertos casos se reproduce solo una parte del texto de la respuesta que reflejará la idea que resulte más relevante para este análisis.

Propuestas de mejora personal (tú como joven): La mayoría (77%) incluyen lo que pueden hacer más directamente, como separar y reciclar las basuras, con frases extensas y no sólo con palabras sueltas como “reciclar”. Incluso algunos proponen realizar compostaje orgánico en casa (3%):

“Reciclar todos los elementos de la basura que sean reciclables y compactar todos los envases para sacarles el aire...” (GEXP-A24-FII).

“....reciclaje de vidrio, papel y cartón, envases, separando la basura que produzco.....el uso de abonos naturales en jardines haciendo compost a partir de restos orgánicos (sólo vegetales)” (GEXP-A29-FII).

Muchos asumen que en su vida cotidiana pueden realizar diversas elecciones favorables al medioambiente, no solo pueden priorizar viajar en transporte público (6,7%) sino también otras opciones de su consumo diario como la elección de energías renovables en calefacción, transporte, etc. (20%):

“...utilizar un coche que no contamine mucho y no utilizarlo demasiado, cogiendo más a menudo el transporte público” (GEXP-A21-FII).

“...también evitaremos la contaminación si utilizamos el transporte público y no las motos o los coches (si tenemos 18 años)” (GEXP-A1-FII).

“.. no utilizar la calefacción o vehículos que puedan contaminar de manera innecesaria. No utilizar CFCs ...” (GEXP-A19-FII).

“...también puedo emplear para la calefacción de la casa biomasa natural...” (GEXP-A18-FII).

Además, exponen su rol responsable y, desde su individualidad, proponen influir en la gente para que se sumen al reciclaje y al consumo responsable (20%). Aparece pues, al menos verbalmente, el ciudadano implicado en cambiar su entorno (alguno incluso propone convocar manifestaciones):

“Aportar mi granito de arena reciclando todo lo que pueda y crear conciencia de reciclaje en los que me rodean” (GEXP-A23-FII).

“... intentar convencer a mis padres de comprar un coche eléctrico o poner paneles solares...” (GEXP-A11-FII).

“...manifestarme, protestar...” (GEXP-A28-FII).

En ese sentido los hábitos de consumidor responsable llevan a proponer disminuir el consumo o controlar el gasto (30%) y no comprar materiales o envoltorios no reciclables (20%). Surge entonces la idea de ahorro energético, no solo apagando luces sino eligiendo bombillas de bajo consumo o seleccionando aparatos ecológicos de mayor eficiencia energética:

“...controlar el desperdicio de agua, de electricidad y de residuos...” (GEXP-A3-FII).

“...evitar todos aquellos productos que incluyan múltiples envoltorios y embalajes difíciles de reciclar. Además no derrochar energía empleando la luz solar posible y no encendiendo radios, televisiones, lámparas, etc., que no vaya a utilizar” (GEXP-A25-FII).

“...usaría en casa bombillas de bajo consumo, procurar gastar menos cantidad de energía” (GEXP-A29-FII).

“...disminuir el consumo...” (GEXP-22-FII).

“...compraría productos naturales y que no contaminen la capa de ozono” (GEXP-A27-FII).

Incluso alguno lleva el civismo a su entorno más lúdico proponiendo un “botellón más ecológico”:

“...Ser ecológico, en los botellones no tirar botellas...” (GEXP-A28-FII).

A continuación se muestra la visión completa de un alumno:

“Yo usaría en casa bombillas de bajo consumo, procurar gastar menos cantidad de energía. Reciclaje de vidrio, papel y cartón, envases separando la basura que produzco. También intentaría concienciar a otros sobre el uso de energías limpias. El uso de abonos naturales en jardines haciendo compost a partir de restos orgánicos (sólo vegetales)” (GEXP-A29-FII).

En cuanto a su visión como empresario: No sólo se limitan a indicar que no deben contaminar (40%), disminuir la contaminación o limpiar los gases que producen antes de verterlos a la atmósfera sino que explican sus métodos, asumiendo incluso que con ello no van a ganar tantos beneficios:

“...intentar conseguir que se emita la menor cantidad de contaminación al ambiente (con catalizadores, depuradoras, contenedores, etc.)” (GEXP-A28-FII).

“Puedo gastar un poco más de dinero en construir algún mecanismo que limpie los gases que se vierten en la atmósfera” (GEXP-A18-FII).

Como empresarios, proponen no sólo reciclar (47%) sino elegir materiales reciclados o reciclables incluso a costa de los beneficios (10%):

“Controlar los residuos que salen de fábrica y reciclarlos, utilizar materias primas poco contaminantes” (GEXP-A20-FII).

“Si tengo una empresa que produzca muchos residuos construiría una planta en la misma fábrica para tratar esos residuos. Sin embargo si es una empresa que produzca pocos residuos contrataría una empresa de reciclaje para que pudiera tratar los residuos. De todas formas sacrificaría una parte de la producción de la fábrica al año para contaminar menos (si es necesario)” (GEXP-A21-FII).

El 64% de las respuestas se relacionan directamente con las energías renovables, indicando que las utilizarían (37%) y reciclarían sus residuos para obtener energía (27%):

“Intentar disminuir los residuos contaminantes, utilizar los que pueda para formarme mi propia energía y todos los residuos restantes reciclarlos” (GEXP-A13-FII).

“Reutilizar los residuos que genere mi empresa para utilizarlos como fuente de energía” (GEXP-A15-FII).

Surgen, además, otras ideas que complementan a las primeras y que son el ahorro energético (7%), la investigación (13%) o incluso convencer a otros empresarios de que sigan su camino (7%):

“Emplear para la iluminación bombillas de ahorro energético pues las lámparas tienen que estar mucho tiempo encendidas. Además si dispusiese de un buen terreno instalaría placas solares para producir energía” (GEXP-A25-FII).

“... Investigar en la utilización de productos no contaminantes” (GEXP-A19-FII).

“...poner energía renovable en mi empresa e intentar que otras empresas también lo hagan” (GEXP-A14-FII).

“Habría con mi empresa para obtener ayudas económicas para reciclar y reciclar mucho más y con los residuos que obtengamos podríamos hacer combustible orgánico” (GEXP-A27-FII).

De acuerdo con estas manifestaciones, los alumnos del GEXP parecen estar preparados para contribuir al desarrollo de esa Europa económicamente sostenible que propone la Unión Europea. Alguno de ellos asume el papel de empresario tanto que se ve dirigiendo varias empresas:

“Buscaría el uso en mi/s empresa/s de energías renovables como solar o eólica, incluso si pudiese con un residuo que pudiera ser utilizado como combustible podría producir energía. Quemaría dicho combustible para nutrir esas oficinas, naves industriales o propiedades de mi empresa con dicha energía. Intentaría reciclar todos los residuos producidos, además de usar aparatos que tengan un bajo consumo y el mayor rendimiento posible” (GEXP-A19-FII).

Su visión como político: Lo más difícil para los estudiantes es pensar que pueden llegar a tomar decisiones como político. Es un mundo que les parece inalcanzable, y en algunas respuestas, parecen decepcionados por no poder cambiar realmente el entorno político, aún así la mayoría realiza varias propuestas.

Son importantes las aportaciones que optan por controlar la contaminación (23%) o sancionar (30%) a las personas o empresas que contaminen:

“Poner multas al que no recicle. Como hacen en Suecia y en Bélgica, obligar a que se pague por la basura que se produzca, Que las multas a las fábricas por contaminar les cueste mucho más que hacer que reduzcan su emisión de gases. Sancionar a EEUU para que cumpla Kioto” (GEXP-A5-FII).

“...daría un año para que todas las empresas que contaminan mucho hagan algo para reducir su contaminación a la mitad y encima poner un límite para quién lo pase sea sancionado” (GEXP-A12-FII).

Pero son mayoritarias las respuestas que en vez de sancionar proponen favorecerlo (64%) de diversas formas: poniendo contenedores (3%), premiando el reciclaje (7%) o la no contaminación (7%), subvencionando o desgravando (37%), invirtiendo en investigación (7%), etc.

“...premiar a empresas y particulares que sean respetuosos con el medioambiente, fabriquen productos ecológicos usen energías renovables. Sancionar económicamente a quienes contaminen en exceso.....” (GEXP-A19-FII).

“Dar subvenciones a empresas para que reutilicen sus residuos....” (GEXP-A25-FII).

“Promover y subvencionar el uso de energías renovables como haciendo una rebaja de impuestos a quién instale paneles solares en sus casas y empresas o desgravando a quien use como combustible en su coche, casa, empresa, etc. combustibles biológicos como el biogás” (GEXP-A17-FII).

“...subvencionaría proyectos científicos que tratasen de desarrollar nuevas formas de energía para fomentar la producción de energías no contaminantes” (GEXP-A29-FII).

Muchos proponen que los controles vengan legislados (53%), tanto las prohibiciones, como el control de vertidos o contaminación así como el incentivo al uso de las energías renovables o del transporte público (que además sugieren que utilice energías renovables como el bioetanol):

“Aprobaría subvenciones para las instalaciones de energías renovables y la investigación ...obligaría por ley a reducir las emisiones de gases contaminantes y potenciaría el transporte público” (GEXP-A25-FII).

“Impondría leyes que castigasen con fuertes multas e incluso al cierre de algunas fábricas que no fuesen respetuosas con el medioambiente y propondría subvenciones y premios para las empresas que demostraran que están luchando contra la contaminación desde su propia empresa” (GEXP-A21-FII).

Se observa como en las tres preguntas que se les proponen aparecen respuestas en las que se intenta concienciar al resto de los ciudadanos, en concreto como político proponen campañas con esta finalidad (17%):

“...organizaría campañas para difundir el mensaje de una ciudad limpia y así meter a la gente en la cabeza el proyecto y que lo cumplan...” (GEXP-A1-FII).

Es muy interesante notar que en algún caso sugieren la creación de un consejo de sabios que ayuden a los políticos (3%):

“Aceptar propuestas del pueblo y pedir consejo a los especialistas, técnicos, ecologistas,...y formar un equipo para luchar con el problema, invirtiendo una parte del fondo monetario del estado” (GEXP-A28-FII).

A continuación se reproducen ejemplos de algunos comentarios completos:

“Destinar más dinero para plantas de reciclaje y para las campañas de concienciación de las personas y tomar medidas, si acaso de dinero para que la gente se conciencie mejor, en caso de que fuera necesario, y renovar las leyes de contaminación poniéndolas más drásticas y con más seguridad” (GEXP-A13-FII).

“Trataría que se promulgasen leyes que favoreciesen el uso de energías renovables (con subvenciones, etc.) y obligar a colocar una preinstalación solar en viviendas para favorecer su desarrollo. Subvencionaría proyectos científicos que tratasen de desarrollar nuevas formas de energía para fomentar la producción de energías no contaminantes, Buscaría también medios para reducir la producción de basuras tratando de buscar la manera de concienciar a la gente de ello” (GEXP-A29-FII).

En resumen, parece que sus respuestas muestran como los alumnos del grupo experimental adquieren, al menos aparentemente, una serie de actitudes que van en la dirección de convertirlos en ciudadanos responsables en apoyo a la sostenibilidad del planeta, uno de los objetivos educativos buscados por la Unión Europea.

Aunque no de forma estadística, se comparan a continuación las respuestas proporcionadas por los alumnos, en el momento final, para el TACT3 con aquellas preguntas cerradas del TACT2 del inicio que coinciden en la temática abordada.

Para el test inicial se toma como correcta la respuesta que concuerda con la decisión de máxima valoración, pues se considera que los alumnos se hayan completamente convencidos de su respuesta y serían los que en una pregunta abierta especificarían, seguramente, esa posición como opción personal. En la situación final la elección correcta será la de aquellos que indican dicha posición sin condiciones.

La nomenclatura de las opciones seleccionadas en la prueba final corresponde a las asignadas en tabla 4.15, en relación a su actitud como joven (J), empresario (E) o político (P). Si hay varias opciones posibles se suman las frecuencias, contando a los alumnos que repitan opciones una sola vez. La correlación entre las pruebas aparece en la tabla 4.16.

TACT 2	TACT3	IDEA SUBYACENTE	FASE II GEXP (30 alumnos)			
			INICIAL		FINAL	
			Nº	%	Nº	%
1. Podemos utilizar combustibles fósiles.... (1)	P5+P6+P7	Favorecer otras energías (renovables)	1	3,3	14	46,7
2. Uso luz eléctrica en vez de luz solar sin necesidad (1)	J5	Ahorro	0	0,0	9	30,0
3. Reciclas a diario (5)	J1+J2	Reciclar	8	26,7	21	70,0
4. Se debería multar a los que no reciclan (5)	P8	Sancionar a todo el que no recicle	8	26,7	9	30,0
5. Control medioambiental para empresas o industrias pero no para particulares (1)	P8 +P9	Leyes medioambientales para todos	4	13,3	14	46,7
6. Prohibir instalaciones contaminantes(5)	P9	Prohibir /controlar contaminantes	6	20,0	7	23,3
7. En España debemos seguir utilizando el carbón.... (1)	P9	Evitar contaminantes	0	0,0	7	23,3
8. ...disminuir la velocidad de los coches hasta gasto mínimo ... (5)	P9	Controlar la contaminación	2	6,7	7	23,3
9. Instalaría una caldera más contaminante si es más barata ... (1)	J4+J6	Optar por una energía limpia(sin condiciones)	0	0,0	12	40,0
10.. ... subvencionar instalaciones solares ... (5)	P5	Subvencionar energías renovables	10	33,3	11	36,7
11. Las empresas ...deberían utilizar esos residuos para obtener energía su energía.. (5)	E2+E7	Reciclar sus residuos y si es posible obtener e renovables	9	30,0	17	56,7
12. El estado debería destinar dinero...para investigar en E ren (5)	P5+P6	Invertir e investigar las energías renovables	0	0,0	13	43,3

TABLA 4.16. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP DE LA FASE II PARA LAS PRUEBAS TACT2 y TACT3 SOBRE ACTITUDES.

En síntesis, tras el estudio de los datos arrojados por las dos pruebas iniciales y su correlación con las dos finales para el GEXP se puede manifestar que:

En la fase I se observa un cambio estadísticamente significativo hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente en los estudiantes del GEXP, en el momento final respecto al inicial, como consecuencia del trabajo continuado con la MRPI, excepto en lo que se refiere al reciclaje y las cuestiones que puedan afectar a decisiones de economía familiar. Para la fase II se observa una modificación hacia actitudes más favorables de protección y conservación del medioambiente.

4.5.2. CONTRASTE DE LA SUBHIPÓTESIS 4.2. RELATIVA A LA COMPARACIÓN DEL CAMBIO ACTITUDINAL HACIA EL MEDIOAMBIENTE DE LOS GEXP Y GCON

Al igual que para el estudio de las hipótesis anteriores, además de la comparación de la situación inicial y final de cada GEXP se contrastan los resultados entre éstos y los GCON de referencia. Así se comprueba si existe una evolución estadísticamente significativa hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente mayor en los alumnos del GEXP, que ha seguido la metodología investigativa, que en los del GCON que ha seguido una metodología tradicional.

Para ello se estudian los resultados proporcionados por los diferentes test de actitudes en el momento final. Al igual que en el apartado anterior, el análisis se divide en tres estudios: el primero analiza los resultados en la prueba TACT1 para ambas fases, el segundo el TACT2 para fase I y el tercero estudia para la fase II los resultados del TACT3.

Primer estudio:

Los resultados del TACT1, en el momento final, para ambos grupos y ambas fases se recogen en la tabla 4.17. Se han analizado utilizando el test de la U de Mann-Whitney para detectar las diferencias finales entre ambos grupos a favor del GEXP. La hipótesis nula del estadístico es que ambos grupos son estadísticamente homogéneos en sus respuestas frente a la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor.

TACT1		FASE I					FASE II				
		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		U Mann- Whitney	GEXP (30 al.)		GCON (39al.)		U Mann- Whitney
		Nº	%	Nº	%		Nº	%	Nº	%	
1. Problemas de la sociedad actual que te preocupan más.	a) Menciona cuestiones ambientales	27	96,4	12	52,2	179,5***	19	63,3	18	46,2	508,5
	b) No menciona cuestiones ambientales	1	3,6	11	47,8		10	33,3	20	51,3	
	c) NS/NC	0	0,0	0	0,0		1	3,3	1	2,6	
2. ¿Qué considerarías al elegir combustible?	a) Menciona consideraciones ambientales	27	96,4	18	78,3	263,0*	24	80,0	32	82,1	585,0
	b) No referencias medioambientales	1	3,6	4	17,4		6	20,0	3	7,7	
	c) Otras o NS/NC	0	0,0	1	4,3		0	0,0	4	10,3	

TABLA 4.17. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA FINAL SOBRE ACTITUDES TACT1. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que en el momento final el GEXP es significativamente mejor que en el inicial. (***) $p < 0,001$, (**) $p < 0,01$, ($p < 0,05$).

Para la primera cuestión se observa cómo en la fase I las respuestas del GEXP son significativamente mejores que el GCON en lo referente a actitudes de conservación del medioambiente. Un 96% de los alumnos del GEXP señalan cuestiones ambientales como la falta de ahorro energético, búsqueda de energías renovables, conservación del medioambiente, cambio climático etc. Para esta fase, en el GCON un 52% menciona alguna cuestión ambiental pero de una forma general “el medioambiente”, salvo un alumno que especifica cuestiones como la desaparición de especies, la capa de ozono, la contaminación y los vertidos tóxicos. Las razones alegadas por el grupo control se asemejan más a las dadas por el GEXP antes de trabajar con la MRPI. En ambos grupos aparece un asunto nuevo que antes no señalan: “la selectividad”, quizá por la cercanía a dicha prueba académica.

Para la cuestión 2 se aprecia como el 96% de los alumnos del GEXP de la fase I se refieren a cuestiones ambientales frente al 78% del GCON. Sus respuestas se refieren al cuidado del medioambiente y son significativamente mejores en los alumnos del GEXP que en los del GCON. Los primeros no sólo mencionan cuestiones ambientales sino que hablan, en un 37%, de la utilización de energías renovables siendo sus respuestas elaboradas y razonadas desde el punto de vista técnico. Así tratan cuestiones como el poder calorífico (10%), y en porcentajes menores (3-7%) de la rápida combustión, la eficacia, densidad del combustible, el

rendimiento, etc. En el caso del GCON los alumnos que hablan de cuestiones ambientales lo hacen de una forma menos técnica, por ejemplo indicando "que caliente", en vez de hablar de poder calorífico que no se nombra en ninguna ocasión. A continuación se presentan ejemplos de ambos:

"1- Que fuese no contaminante, 2- Que fuese renovable, 3- Que fuese económico". (GEXP-A28-FI).

"1- Que sea económico, 2-Que sea ecológico, 3- Que tenga un poder calorífico alto" (GEXP-A17-FI).

"1- No contamine, 2- Que con poca masa se obtenga mucha energía,3- Económico" (GEXP-A20-FI).

"1- Seguridad, 2- Coste, 3- ecología". (GCON-A6-FI).

"1- Económico, 2-limpieza, 3- rapidez" (GCON-A24-FI).

"1- Económico, 2- Que no contamine en exceso, 3- que caliente" (GCON-A15-FI)

En el caso de la fase II, aunque los porcentajes en ambas cuestiones son altos, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Segundo estudio:

En este caso, y solo para la fase I, se estudian los datos recogidos para el segundo test de actitudes TACT2 que se muestran en la tabla 4.18. Para analizar este test, de tipo Likert, se utilizan los criterios ya comentados, tomando para las NC el valor medio de las respuestas. En la tabla, el valor asignado en cada caso aparece entre paréntesis junto a la opción NC, indicando a qué grupo pertenece esa media.

TACT 2 FASE I		GEXP (28 al.)		GCON (23 al.)		<i>U Mann-Whitney</i>
		Nº	%	Nº	%	
1. Podemos utilizar combustibles fósiles, cuando se agoten las reservas ya habrá otras energías *	NC (2 para EXP 2 para CON) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 11 11 2 1 2	3,6 39,3 39,3 7,1 3,6 7,1	1 5 14 1 2 0	4,3 21,7 60,9 4,3 8,7 0,0	259,0*
2. Uso luz eléctrica en vez de luz solar sin necesidad*	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	2 6 1 3 16	7,1 21,4 3,6 10,7 57,1	4 4 1 8 6	17,4 17,4 4,3 34,8 26,1	245,5*
3. Reciclas a diario	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 2 3 9 14	0,0 7,1 10,7 32,1 50,0	0 3 3 6 11	0,0 13,0 13,0 26,1 47,8	301,5
4. Se debería multar a los que no reciclan	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 1 6 16 5	0,0 3,6 21,4 57,1 17,9	1 4 10 4 4	4,3 17,4 43,5 17,4 17,4	204,0***
5. Control medioambiental para empresas o industrias por parte del estado pero no para particulares *	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	7 14 4 2 1	25,0 50, 14,3 7,1 3,6	3 2 5 10 3	13,0 8,7 21,7 43,5 13,0	244,0***
6. Prohibir instalaciones contaminantes como calderas de carbón aunque cambiarlas suponga a esa persona mucho dinero	NC (3 para EXP) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 1 4 6 15 1	3,6 3,6 14,3 21,4 57,6 3,6	0 1 11 4 5 2	0,0 4,3 47,8 17,4 21,7 8,7	212,0**
7. En España debemos seguir utilizando el carbón aunque contamine más por subsistencia de la minería del norte *	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	5 15 6 0 2	17,9 53,6 21,4 0,0 7,1	2 8 4 9 0	8,7 34,8 17,4 39,1 0,0	213,0**
8. Se debería disminuir la velocidad de los coches hasta gasto de combustible mínimo aunque perjudique nuestro ritmo de vida	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	5 8 4 7 4	17,9 28,6 14,3 25,0 14,3	4 7 7 4 1	17,4 30,4 30,4 17,4 4,3	286,0
9. Instalaría una caldera más contaminante si es más barata por economía familiar *	NC (3 para EXP 4 para CON) 1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 0 8 9 10 0	3,6 0,0 28,6 32,1 35,7 0,0	1 1 3 6 8 4	4,3 4,3 13,0 26,1 34,8 17,4	228,5**
10.. Se debería subvencionar instalaciones solares aunque sea aumentando los impuestos	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 0 1 14 12	3,6 0,0 3,6 50,0 42,9	0 2 7 4 10	0,0 8,7 30,4 17,4 43,5	248,0*
11. Las empresas que producen residuos agrícolas deberían utilizar esos residuos para obtener energía para su instalación	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	0 0 0 5 23	0,0 0,0 0,0 17,9 82,1	0 0 4 8 11	0,0 0,0 17,4 34,8 47,8	201,5***
12. El estado debería destinar dinero de los presupuestos para investigar en energías renovables aún a costa de aumentar los impuestos	1. Muy en desacuerdo 2. En desacuerdo 3. Indiferente 4. De acuerdo 5. Muy de acuerdo	1 3 5 10 9	3,6 10,7 17,9 35,7 32,1	1 5 3 8 6	4,3 31,7 13,0 34,8 26,1	285,5

TABLA 4.18. RESULTADOS OBTENIDOS PARA GEXP Y GCON EN LA PRUEBA FINAL SOBRE ACTITUDES TACT2 EN LA FASE I. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que en el GCON (** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$). Entre paréntesis aparece el valor medio asignado en el estadístico a la respuesta NC.

Para la fase I, nueve de los doce ítems presentan una diferencia significativa en las actitudes a favor del GEXP. Los tres ítems que no muestran diferencias significativas son: una cuestión personal, C3, sobre si reciclan (ambos dan respuestas afirmativas, muy de acuerdo, alrededor de un 50% y, de acuerdo, cercanas al 30%), otra social, C8, sobre si se debe disminuir la velocidad para ahorrar energía aunque cambie nuestro ritmo de vida (ambos, muy de acuerdo en un 17%, y de acuerdo alrededor de un 30%), y por último una política, C12, sobre el aumento de los impuestos para favorecer energías renovables (ambos, muy de acuerdo, cerca de un 30% y, de acuerdo, aproximadamente un 35%).

Tercer estudio:

Para la fase II de la investigación se utiliza el test abierto TACT3 tanto para el grupo experimental como para el control.

Más allá del desconcierto de enfrentarse a unas cuestiones en las que deben imaginarse en una situación irreal, como es ser un empresario o un político, hay diferencia en la forma de responder de los alumnos. Los del GEXP desarrollan ampliamente las cuestiones mientras los del GCON no; sólo dos alumnos del GCON verbalizan sus respuestas de forma aceptable y el resto enumera un listado de opciones, sin justificarlas. Esto puede considerarse una consecuencia de la mejora en los niveles de verbalización que han adquirido los alumnos del GEXP a lo largo del trabajo con la MRPI.

Además, si se estudian detenidamente los contenidos de sus respuestas se puede decir que, en general, las opciones del GCON están menos elaboradas.

En la tabla 4.19 se recoge la red sistémica correspondiente al TACT3 para las respuestas de los alumnos de los GEXP y GCON de esta fase II. A continuación se analizan las respuestas de los alumnos en torno a las tres cuestiones, su postura como joven, como empresario y como político.

	TEMÁTICAS PROPUESTAS	ALTERNATIVAS SUGERIDAS	OPCION	GEXP		GCON	
				N ^a	%	N ^a	%
COMO JOVEN (J)	reciclar	Separar basuras	J1	23	76,7	23	59,0
		Hacer compost	J2	1	3,3	0	0,0
	No contaminar	Usar transporte público	J3	2	6,7	7	17,9
		Elegir energías renovables	J4	6	20,0	1	2,6
	Hábitos de buen consumidor	Ahorro/disminuir consumo	J5	9	30,0	10	25,6
		No comprar contaminante o no reciclable	J6	6	20,0	13	33,3
	Interaccionar socialmente	Convencer a la gente	J7	6	20,0	2	5,1
		manifestarse	J8	1	3,3	0	0,0
	Otras/NS oNC	No fumar, no tirar papeles, sancionar	J9	1	3,3	14	35,9
COMO EMPRESARIO (E)	Reciclar	Utilizar materiales reciclados o reciclables	E1	3	10,0	1	2,6
		Reciclar sus residuos	E2	14	46,7	8	20,5
	No contaminar	Evitar contaminar	E3	12	40,0	18	46,2
		No utilizar/fabricar contaminantes	E4	2	6,7	4	10,3
	Hábitos de buen consumidor	Ahorro/disminuir consumo de E	E5	2	6,7	1	2,6
	Utilizar energías renovables	Invertir o utilizar energías renovables	E6	11	36,7	8	20,5
		Utilizar sus residuos para su E renovable	E7	8	26,7	0	0,0
	Interaccionar socialmente	Invertir en investigación	E8	4	13,3	0	0,0
		Comunicar/convencer a otros empresarios	E9	2	6,7	0	0,0
	Otras/NS oNC	Poner papeleras, etc.	E10	1	3,3	6	15,4
COMO POLÍTICO (P)	Favorecer el reciclaje	Poner contenedores/papeleras	P1	1	3,3	1	2,6
		Premiar / subvencionar el reciclaje	P2	2	6,7	3	7,7
	No contaminar	Controlar emisiones y vertidos	P3	3	10,0	1	2,6
		Premiar/Invertir (depuradoras, ...)	P4	2	6,7	1	2,6
	Favorecer las E. renovables	Favorecer/subvencionar las Eren	P5	11	36,7	5	12,8
		Invertir en investigación	P6	2	6,7	1	2,6
		Utilizarlas en los medios públicos	P7	1	3,3	1	2,6
	Legislar	Sancionar	P8	9	30,0	16	41,0
		Controlar niveles de contaminantes	P9	7	23,3	5	12,8
	Interaccionar socialmente	Campañas concienciación, transporte público ,etc.	P10	5	16,7	9	23,1
		Formar consejo de sabios	P11	1	3,3	0	0,0
		Educación	P12	0	0,0	1	2,6
	Otras/NS oNC	Bajar sueldos, quitar coches, etc.	P13	1	3,3	3	7,7

TABLA 4.19. RED SISTÉMICA DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA FINAL TACT3 SOBRE ACTITUDES PARA LA FASE II. SIMBOLOGÍA { ASPECTOS PARALELOS, POSIBLE ELECCIÓN SIMULTÁNEA.

Propuestas de mejora personal (tú como joven): En una visión general se observa que las respuestas dadas por los estudiantes del GCON son más evidentes (reciclar, coger transporte público) y con frases menos elaboradas. Llama la atención que la segunda opción más sugerida sea que para resolver los problemas ambientales la solución es no fumar o no tirar papeles:

“Utilizar medios de transporte públicos, no fumar, reciclar, no tirar residuos al suelo” (GCON-A9-FII-FIN).

Las opciones del GEXP indican una mayor elaboración proponiendo, además de las opciones habituales de reciclar o ahorrar, otras como uso de energías renovables o la interacción social. Por ejemplo, la respuesta mayoritaria en ambos grupos es el reciclado de la basura (80% en GEXP y 59% en el GCON) pero aparece una opción más avanzada en el GEXP sobre realizar el reciclaje proponiendo la formación de compost:

“Reciclar todos los productos posibles, comprar productos reciclados” (GCON-A22-FII-FIN).

En torno a la sugerencia de no contaminar, aunque los recuentos globales son parecidos (27% en GEXP y 20% en el GCON), las propuestas son diferentes. La del grupo control es la más habitual, usar transporte público, con escasas menciones al uso de energías renovables en su casa (3%) frente al 30% que lo nombran en el grupo experimental. La propuesta de hábitos de buen consumidor es semejante (50% en GEXP y 59% en el GCON) con proporciones similares en las posiciones frente al ahorro o la compra de productos no contaminantes o no reciclables:

“- Reciclar

- No tirar papeles

- No usar CFCs

- No usar productos nocivos para la naturaleza” (GCON-A7-FII-FIN).

También se detectan diferencias entre ambos grupos en las propuestas de interacción social. El 20% de los alumnos del grupo experimental intentaría que su entorno tomara conciencia de la necesidad de cuidar nuestro planeta (frente al 5% del GCON), incluso algún alumno (3%) se manifestaría públicamente, opción que no aparece en el GCON:

“Reciclar y elegir productos que no contaminen, e intentar concienciar a los demás de lo mismo” (GCON-A15-FII-FIN).

La forma de responder también llama la atención. Mientras los alumnos del GCON lo hacen, de forma general, con un listado de cosas que harían, sin redactar frases o con frases de dos líneas, la práctica totalidad de los alumnos del GEXP escriben su respuesta en un párrafo más o menos amplio, verbalizando su justificación, lo que indica una influencia de la metodología de trabajo seguida en su clase:

- “ - No tirar basuras*
- Reciclar*
- No usar productos nocivos para el medioambiente” (GCON-A1-FII-FIN).*

“Yo usaría en casa bombillas de bajo consumo, procurando gastar la menor cantidad de Energía. Reciclaría el vidrio, papel, cartón, envases, separando la basura que produzco. También intentaría concienciar a otros sobre el uso de energías limpias y el uso de abonos naturales en jardines haciendo compost a partir de residuos orgánicos (sólo vegetales)” (GEXP-A29-FII-FIN).

En cuanto a su visión como empresario: En este aspecto, según parece, se detecta la influencia del aprendizaje con esta Unidad Didáctica. En el GCON se vuelve, en muchos casos, a repetir las opciones dadas en su papel como joven (reciclar, no contaminar, usar menos el coche o poner papeleras) pero añade el uso de energías renovables:

- “-Reciclar el material*
- No malgastar el material*
- Utilizar materiales reciclados” (GCON-A32-FII-FIN).*
- “-Tener en cuenta el efecto medioambiental*
- Poner medidas ecológicas*
- Utilizar/apoyar energías renovables” (GCON-A27-FII-FIN).*

En el GEXP la opción obvia del reciclaje se amplía con la utilización de residuos para obtener su propia energía (27%), quizá recordando los problemas abiertos trabajados, opción no señalada por ningún alumno del GCON:

- “Invertir en energías renovables y hacer estudios sobre el reciclaje y nuevos medios de aprovechar los residuos” (GEXP-A2-FII-FIN).*
- “Intentar disminuir los residuos contaminantes, utilizar los que pueda para formarme mi propia energía y todos los residuos restantes reciclarlos” (GEXP-A13-FII-FIN).*

Si se analizan detenidamente esas respuestas desde la posición de empresario, se observa que en ambos grupos las mayoritarias son no contaminar directa o indirectamente (opciones E3+E4, por encima del 40%

en ambos grupos) y reciclar los residuos (E2 con un 47% en GEXP y 20,5% en GCON) pero en el GEXP aparece una opción más avanzada, la E7 (27%), en la que se propone la utilización de residuos para obtener su propia energía renovable. Además, algunos alumnos piensan en seleccionar previamente los materiales que utilizaría la fábrica para que se puedan reciclar (E1, con 10% en el GEXP y 3% en el GCON). Aunque ambos grupos sugieren la utilización de energías renovables los porcentajes son favorables al GEXP (63% frente al 21% del GCON). Vuelven a aparecer diferencias considerables a la hora de interaccionar socialmente (opciones E8 y E9). El 20% de los alumnos del grupo experimental invertiría parte de sus beneficios en investigar la forma de que su empresa sea menos contaminante y, además, comunicaría sus descubrimientos a otros e intentaría convencerlos de lo importante de sus posturas ecológicas, aspecto que no contempla ningún alumno del GCON:

“Poner energía renovable en mi empresa e intentar que otras empresas también lo hagan” (GEXP-A14-FII-FIN).

“Si tengo una empresa que produzca muchos residuos, construiría una planta en la misma fábrica para tratar los residuos. Sin embargo, si es una empresa que produzca menos residuos contrataría una empresa de reciclaje para que pudiera tratar los residuos de la fábrica. De todas formas sacrificaría una parte de la producción de la fábrica al año para contaminar menos (si es necesario)” (GEXP-A21-FI-FIN).

Su visión como político: En el GCON la opción predominante sería la de multar, P8, (41%). Aunque en el GEXP esa elección también es importante, (30%), la mayoritaria es la P5, favorecer las energías limpias por subvenciones (37%), además de otras propuestas en ese sentido referidas a dar premios, subvenciones al reciclaje, etc. (P2, P4, P6) con un 7% en cada una en el GEXP y, con entre un 3% y un 7% en el GCON:

“Multaría a las personas por tirar papeles al suelo” (GCON-A23-FII-FIN).

“.....Multaría a las personas que más contaminan.....” (GCON-A32-FII-FIN).

En relación al reciclaje y el control de la contaminación las respuestas de ambos grupos son semejantes. Esta situación cambia si se analiza lo referente al hecho de favorecer energías renovables desde el estado, sea subvencionando (P5), invirtiendo (P6) o utilizándolas en medios públicos (P7), con 47% en el GEXP frente al 18% del GCON:

“Utilizar energía renovable en transporte público y estamentos del estado” (GCON-A34-FII-FIN).

Además algún alumno del GEXP incluye en su explicación aspectos tratados en la Unidad:

“Invertir algún dinero más en energías renovables y poco contaminantes para poder cumplir el protocolo de Kioto suministrando tanta energía como demanda la sociedad” (GEXP-A3-FII-FIN).

En lo relativo a la interacción social, P10, P11 y P12, las contestaciones del GCON son ligeramente superiores a las del GEXP (26 frente al 20%). En ambos casos aparecen opciones interesantes exclusivas, en el caso del GEXP la formación de un consejo de sabios para solucionar el problema y en el GCON la intervención en la educación:

“Aceptar propuestas del pueblo y pedir consejo a los especialistas, técnicos, ecologistas,...y formar un equipo para luchar con el problema, invirtiendo una parte del fondo monetario del estado” (GEXP-A28-FII).

“Educar en las escuelas sobre este problema” (GCON-A27-FII).

Si se analizan conjuntamente en los tres estudios las diferencias de las respuestas, se observa que el GEXP ha evolucionado, en general, hacia actitudes más positivas hacia el medioambiente que el GCON, pero solo se puede afirmar que sean estadísticamente significativas analizando las respuestas de los dos primeros estudios, con los test TACT1 y TACT2. Para finalizar, se puede señalar que:

Para la fase I, existen diferencias estadísticamente significativas en la evolución hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON excepto en lo referente al reciclaje y a algunas opciones que le afectan en lo personal o económico como el disminuir la velocidad en la conducción o subvencionar las energías renovables a costa de aumentar los impuestos.

En la fase II, en aspectos generales como la preocupación por el medioambiente o la elección de una caldera, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas y, en el estudio de actitudes como joven, empresario o político se observa una modificación hacia actitudes favorables en el GEXP, que ha trabajado con la MRPI, presentando, en las tres situaciones planteadas, respuestas más elaboradas que el GCON respecto a la preservación y cuidado del medioambiente.

4.6. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS 5 RELATIVA A LA ACTITUD DE LOS ALUMNOS DEL GEXP HACIA LA MRPI

En este apartado se investiga lo que piensan los alumnos sobre la metodología de enseñanza-aprendizaje que se ha seguido a lo largo de la Unidad Didáctica.

Es importante conocer si consideran que han evolucionado en su aprendizaje, si son conscientes de sus logros o dificultades durante el proceso de enseñanza aprendizaje o consideraciones al respecto en el momento final en el que se encuentran. Además parece interesante descubrir si se produce algún cambio en la forma de enfrentarse a problemas en esta o en otras asignaturas. Es decir, se intenta revelar alguno de los aspectos metacognitivos del proceso seguido por los estudiantes durante las diferentes fases de investigación.

Para contrastar la H5, se analizan las contestaciones dadas por los estudiantes a la encuesta TMRPI semejante a la utilizada en estudios de Física y Biología con la MRPI (Varela,1992; Ibáñez,2005), y que se mostraba en el apartado 2.8.3.2 (cuadro 2.24, pp. 123-124). En ésta se plantean diversas cuestiones relacionadas con la metodología seguida en el aula y la postura de los estudiantes en relación a dificultad, utilidad a nivel académico y personal, ayuda del profesor, etc. También se pregunta sobre el interés de esta metodología para el aprendizaje de conceptos y la resolución de problemas cerrados; así como su viabilidad en la resolución de problemas de otras disciplinas del área de Ciencias. Como se señaló en ese apartado las preguntas están diseñadas en torno a cuatro organizadores: Características de la tarea realizada, incidencia sobre la autoconfianza, metodología de trabajo y posible transposición de conocimientos.

Los valores para cada cuestión son puntuados del 1 al 5, en una escala de tipo Likert, y recogidos en forma de porcentaje de respuesta dado por los estudiantes del GEXP para cada uno de los valores. Además se incluye un espacio para la reflexión en cada pregunta, lo que aporta más información. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.20.

TMRPI	VALORACIÓN	FASE I (28 al.)		FASE II (30 al.)	
		Nº	%	Nº	%
1. La resolución de problemas abiertos me ha parecido una tarea	1. Aburrida 2. 3. 4. 5. Interesante	0 1 16 8 3	0,0 3,6 57,1 28,6 10,7	4 4 8 8 6	13,3 13,3 26,6 26,6 20,0
2. La resolución de problemas abiertos me ha resultado una actividad	1. Difícil 2. 3. 4. 5. Fácil	5 12 9 2 0	17,9 42,9 32,1 7,1 0,0	6 2 18 3 1	20,0 6,7 60,0 10,0 3,3
3. La resolución de problemas abiertos me ha ayudado a aprender conceptos de Química	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	0 0 1 15 12	0,0 0,0 3,6 53,6 42,9	1 4 8 8 9	3,3 13,3 26,6 26,6 30,0
4. La resolución de problemas abiertos me ha ayudado a familiarizarse con procedimientos más científicos de trabajo	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	0 1 7 14 6	0,0 3,6 25,0 50,0 21,4	3 3 11 9 4	10,0 10,0 36,7 30,0 13,3
5. La resolución de problemas abiertos me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto)	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	0 3 4 11 10	0,0 10,7 14,3 39,3 35,7	4 3 7 8 8	13,3 10,0 23,3 26,6 26,6
6. Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos	1. No 2. 3. 4. 5. Sí	0 2 7 11 8	0,0 7,1 25,0 39,3 28,6	3 1 7 10 9	10,0 3,3 23,3 33,3 30,0
7. ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?	1. Inútil 2. 3. 4. 5. Muy útil	0 0 1 18 9	0,0 0,0 3,6 64,3 32,1	0 2 14 4 10	0,0 6,7 46,7 13,3 33,3
8. El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (salud, familia, como consumidor...)?	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	4 7 9 5 3	14,3 25,0 32,1 17,9 10,7	8 10 11 1 0	26,6 33,3 36,7 3,3 0,0
9. ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la resolución de problemas abiertos te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Biología, Física?	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	0 1 9 13 5	0,0 3,6 32,1 46,4 17,9	3 1 10 11 5	10,0 3,3 33,3 36,7 16,7
10. La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Química o las Ciencias en general?	1. No 2. 3. 4. 5. Sí	0 0 2 15 11	0,0 0,0 7,1 53,6 39,3	8 4 7 5 6	26,6 13,3 23,3 16,7 20,0
11. ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Química?	1. Inadecuada 2. 3. 4. 5. Adecuada	0 1 7 13 7	0,0 3,6 25,0 46,4 25,0	4 4 9 10 3	13,3 13,3 30,0 33,3 10,0
12. El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?	1. Poco 2. 3. 4. 5. Mucho	0 2 8 14 4	0,0 7,1 28,6 50,0 14,3	4 3 9 7 7	13,3 10,0 20,0 23,3 23,3

TABLA 4.20. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TEST DE ACTITUDES HACIA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS Y LA MRPI (TMRPI) PARA AMBAS FASES.

Para analizar los resultados se decide unir las opciones favorables (4 y 5) y las desfavorables (1 y 2), como sugieren estudios similares (Ibáñez, 2005). Los resultados obtenidos para cada ítem se analizan a continuación tanto individualmente como agrupados por los organizadores seleccionados.

En la tabla 4.21, se incluyen los resultados globales para cada organizador.

ORGANIZADOR	ÍTEMS	% Favorables		% Desfavorables	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Características de la tarea realizada	1,2,3,4 y 5	58,0	42,6	15,7	22,6
Autoconfianza del alumno	6,10 y 12	75,0	48,9	4,7	25,5
Metodología de trabajo	7 y 11	83,9	45,0	1,8	16,7
Transposición de conocimientos	8 y 9	46,5	28,4	21,5	36,6

TABLA 4.21. VALORES MEDIOS DE LOS DIFERENCIALES SELECCIONADOS POR LOS ALUMNOS PARA LA LOS ÍTEMS DE LA PRUEBA TMRPI SOBRE QUÍMICA, CLASIFICADOS SEGÚN LOS ORGANIZADORES DE ÉSTA.

A continuación se analizan los resultados pormenorizados y se comparan con los datos disponibles de las investigaciones de Física y Biología antes mencionadas:

1. Características de la tarea realizada (resolución de problemas abiertos):

En este bloque se incluyen las cuestiones relativas a las características de la tarea a realizar, ítems 1 a 5 (tabla 4.20). Los alumnos expresan como han encontrado la nueva tarea, aburrida o interesante (C1), el nivel de dificultad (C2), si ésta les facilitaba el aprendizaje de conceptos químicos (C3) así como la adquisición de destrezas científicas (C4) y de resolución de problemas cerrados (C5).

Los datos aparecen en la tabla 4.22 y se analizan a continuación.

ORGANIZADOR	ÍTEMS	% Favorables		%Desfavorables	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Características de la tarea realizada	1	39,3	46,6	3,6	26,6
	2	7,1	13,3	60,8	26,7
	3	96,5	56,6	0,0	16,6
	4	71,4	43,3	3,6	20,0
	5	75,0	53,2	10,7	23,3
GLOBAL		58,0	42,6	15,7	22,6

TABLA 4.22. VALORES MEDIOS DE LOS DIFERENCIALES SELECCIONADOS POR LOS ALUMNOS PARA LA LOS ÍTEMS DE LA PRUEBA TMRPI SOBRE QUÍMICA PARA EL ORGANIZADOR "CARACTERÍSTICA DE LA TAREA".

Los resultados conjuntos de las cuestiones C1 a C5 son favorables (un 43% para la fase I y un 58% para la fase II). En ambas fases la que obtiene resultados mejores es la C3 (97% en fase I y 57% en fase II) y la C2 arroja valores menos favorables que la media (entre un 7 y un 10%) quizás por referirse al esfuerzo a realizar. Así, en esta cuestión C2, el 61% de los estudiantes de la fase I y el 27% de la II consideran que trabajar con la MRPI es una tarea difícil por requerir más esfuerzo que otras. Sin embargo el 39% de la primera fase y el 47% de la segunda consideran que es una tarea interesante (C1).

Estos resultados guardan similitudes con investigaciones semejantes realizadas en otras disciplinas en la misma línea. En Biología las cuestiones C1, C3, C4 y C5 arrojan valores muy positivos de entre el 57% y el 90% mientras la C2 solo el 10%, indicando los estudiantes que les resulta una tarea difícil (43%) aunque interesante (63%). En Física sucede lo mismo, un 36% lo considera una tarea difícil frente al 16% que les resulta fácil, el 60% como interesante. En dicho estudio, el resto de las cuestiones, sin incluir a la C2, alcanzan entre un 60% y un 87% y en la presente investigación suponen un 70% en la fase I y un 50% en la fase II.

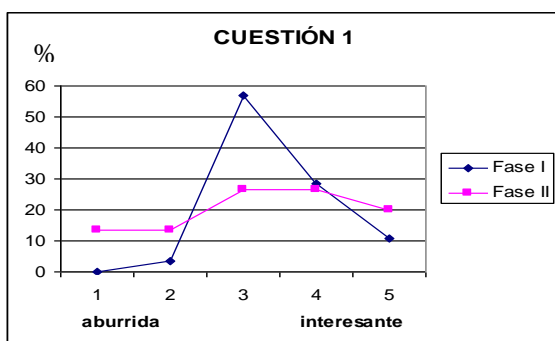
En cuanto a la percepción de los alumnos sobre la ayuda que la MRPI puede haber ejercido en el aprendizaje de conceptos, C3, casi la totalidad de los alumnos de la fase I (99%) y un 57% de la fase II considera que la resolución de situaciones problemáticas abiertas les ha ayudado a comprender conceptos de Química. Aún siendo en ambos casos la opción más elegida la diferencia en la percepción de cada fase es notoria. En otras asignaturas también es favorable pero a su vez con valores diferentes, en Física (80%) y en Biología (60%).

Respecto al aprendizaje de procedimientos científicos, C4, los resultados arrojan datos favorables en la fase I (71%) pero de nuevo en la fase II existen diferencias. El 43% del alumnado en la fase II considera que ha sido favorable frente al 20% que no lo aprecia así, mientras en la fase I tan sólo alrededor del 4% es de una opinión desfavorable. En Física y Biología los resultados son favorables y se asemejan a los de la primera fase (70% y 60% respectivamente).

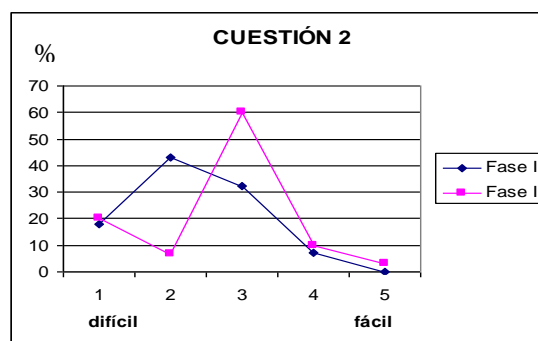
En cuanto a la resolución de problemas cerrados, C5, el 75% de los alumnos de la primera fase y el 53% de la segunda considera que la resolución de problemas abiertos les ha ayudado a la hora de resolver problemas cerrados, utilizados habitualmente en las clases (el 11% y 23% de estas fases consideran que les ha ayudado poco). Los datos para Física (87%) y Biología (56%), aun siendo mayoritarios, indican diferencias entre asignaturas y, en el presente trabajo, de nuevo también entre las muestras.

En la figura 4.17 se recogen las gráficas de porcentajes. Se analiza para cada cuestión de este organizador los resultados obtenidos en ambas fases y, a continuación, se realiza un estudio cualitativo de las respuestas dadas por los alumnos en cada una de ellas, seleccionando las más significativas tanto en sentido positivo o negativo hacia la MRPI, pues ambas aportan una información interesante.

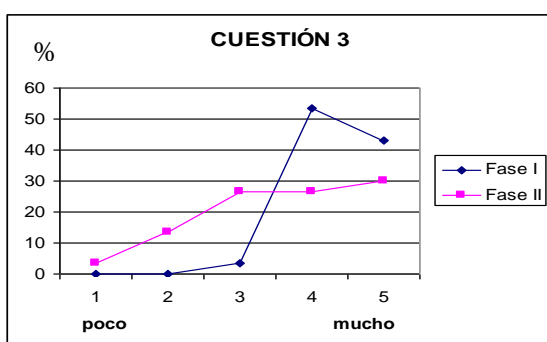
En la selección de las distintas opiniones de los estudiantes se ha procurado seguir un criterio que englobase las respuestas más claras y variadas, expuestas por diferentes estudiantes, de forma que en conjunto fuesen una amplia representación de las actitudes mostradas por el GEXP hacia la MRPI.



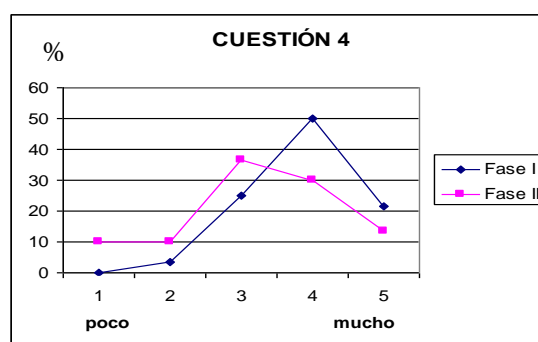
CUESTIÓN 1: "La MRPI me ha parecido una tarea...."



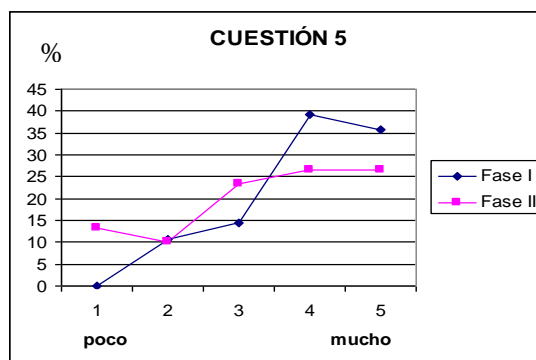
CUESTIÓN 2: "La MRPI me ha resultado una actividad...."



CUESTIÓN 3: "La MRPI me ha ayudado a aprender conceptos de Química"



CUESTIÓN 4: "La MRPI me ha ayudado a familiarizarme con procedimientos"



CUESTIÓN 5: "La MRPI me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto)"

FIGURA 4.17. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CUESTIÓN 1 A 5 DEL TMRPI PARA AMBAS FASES.

Al observar las gráficas se detectan variaciones en los valores según la muestra.

En concreto, para la C1, en la fase I existe una mayoría de alumnos con valoraciones intermedias mientras en la fase II las respuestas se reparten bastante entre todas las opciones.

Las razones que esgrimen los alumnos para decir que esta forma de trabajo les ha resultado interesante o moderadamente interesante están relacionadas con el mayor aprendizaje de conocimientos, con la originalidad e incluso el hecho de poder realizar algunos en el laboratorio:

“Te ayuda a solucionar los problemas de un modo distinto, a verlos desde otra perspectiva” (A1-FI).

“Así he aprendido a pensar no solo a hacer los problemas porque sí” (A24-FI).

“Era algo original, diferente” (A 26-FI).

“Con estos problemas aprendes más y tienes que pensar para realizarlos” (A2-FI).

“Me ha ayudado a razonar mejor los problemas cerrados y a comprenderlos mejor” (A15-FI).

“Suscita al alumno a razonar” (A5-FII).

“Nos hacía esforzarnos y aplicar todo lo aprendido” (A13-FII).

“Nos ayuda a pensar y reflexionar las cosas y problemas planteados antes de solucionarlos” (A15-FI).

“Aprendes rápidamente y casi sin esfuerzo” (A21-FII).

“Es una forma de aprendizaje mejor que la tradicional” (A22-FII).

La justificación de algunos alumnos para considerar la tarea aburrida están relacionada con el esfuerzo exigido por esta forma de trabajo, de acuerdo con la resistencia de los alumnos hacia la resolución de problemas como método indagativo que se recoge en la bibliografía (Prince & Felder, 2009):

“No era aburrida pero era pesado seguir tantos pasos” (A4-FI).

“Han sido algunos muy interesantes pero era una tarea pesada y eso hacía que algunos fueran aburridos” (A23-FI).

“A veces me gustaba, pero otras se me hacía un poco pesado” (A5-FI).

“Me resulta complicado (A19-FII).

“Al principio es un lío y cuesta acostumbrarse” (A30-FII).

Es interesante fijarse en la respuesta dada por un estudiante de la primera fase que opina lo contrario de sus compañeros respecto al hecho de tener que razonar:

“No hace mucha gracia tener que resolver problemas a base de pensar lo que se tiene que hacer, a las personas nos gusta mecanizar las fórmulas y las cosas” (A3-FI).

Incluso algunos piensan que se debe seguir con la forma tradicional de dar clase, como si no se hubiesen dado realmente los conceptos que había que enseñar por no darlos de la forma que esperaban:

“Son entretenidos y divertidos, pero creo que hay materia más fuerte que deberíamos estudiar” (A20-FII).

Esta idea va en consonancia con las voces discordantes contra la enseñanza por indagación que asumen que los métodos tradicionales más dirigidos, son más eficaces (Kirschner et al., 2004).

Si se analizan las contestaciones a la C2, las diferencias entre las fases se vuelve a constatar, en la fase II existe una mayoría de alumnos que la puntúan con valores medios, mientras en la fase I la mayoría la considera bastante difícil, aunque esto no le genera una pérdida de interés, puntuando positivamente la cuestión 1.

Las respuestas que dan los estudiantes en sentido negativo se centran en la cantidad de trabajo que les suponía y en el hecho de ser una novedad para ellos:

“Ya que yo no sabía hacer esas cosas” (A24-FI).

“Para poner todos los aspectos a tener en cuenta hay que estar mucho tiempo” (A28-FI).

“Había que seguir muchos pasos y fijarse en muchas cosas” (A4-FI).

“Había que tener en cuenta muchas variables que no se me ocurrían fácilmente” (A27-FI).

“Al ser abiertos me ha resultado difícil no poner números” (A7-FII).

Tardaba mucho en hacerlos” (A12-FII).

Es importante descubrir que muchos de los alumnos que consideran difícil la MRPI asumen la progresión del proceso de aprendizaje en el que se han visto sumergidos, superando sus dificultades poco a poco:

“Al principio me parecían muy difíciles, después ya no tanto” (A8-FI).

“A medida que hacía más problemas resultaba más fácil” (A13-FI).

“Había que pensar mucho, pero al final ya era mucho más fácil” (A10-FI).

“No estaba acostumbrada a hacerlos pero al final me resultaba más fácil” (A15-FII).

Para la cuestión 3, en la fase I todos los alumnos menos uno consideran que la MRPI les ha ayudado a aprender conceptos de Química. En la fase II, hay más dispersión en sus valoraciones aunque las respuestas

mayoritarias son las favorables. Las razones que destacan en ese aprendizaje positivo se centran en que deben dominar los conceptos para aplicarlos y poder resolver los problemas:

“Conceptos que no entendía con la explicación los he entendido con la resolución de problemas” (A2-FI).

“Hay muchas cosas que parece que sabemos, pero no es así y te sorprenden” (A4-FI).

“Aplicaba lo que había aprendido y lo entendía mejor” (A15-FI).

“Con estos problemas asimilas mejor los conceptos” (A21-FI).

“Porque relacionaba muchos conceptos químicos” (A27-FI).

“A base de repetir teoría al escribirlo me lo he aprendido sin necesidad de estudiar” (A15-FII).

“A la hora de analizar los problemas hay que ver una teoría y ayuda a assimilarla con facilidad” (A.29-FII).

Por otro lado reconocen un mejor aprovechamiento de sus capacidades:

“Te hacía buscar y leer cosas” (A26-FI).

“Me surgían dudas que de otra forma habría dado por hecho” (A13-FI).

“En vez de estudiar un concepto lo hallas por ti mismo” (A5-FII).

“Me ha ayudado a explicarme mejor” (A9-FII).

“Hay trabajos que al buscar la información y al luego hacerlos te ayudan a estudiar” (A20-FII).

“Sirven para comprender más” (A21-FII).

“Ahora sólo cuesta ordenar el ejercicio, no resolverlo” (A25-FII).

“Es muy fácil aprender cuándo realmente lo trabajas” (A28-FII).

“Ahora razono más los cerrados y he ido aprendiendo la materia día a día” (A30-FII).

En contraposición a estas respuestas, es curiosa la de un alumno en relación al aprendizaje de nuevos conceptos. Para él, aprender a aplicar correctamente los contenidos no es un objetivo importante, hay que estudiar nuevos conceptos pues sino eso no es dar Química.

“Se aplican cosas que ya sabes por tanto no aprendes nada más” (A3-FII).

En relación a la cuestión 4, la mayor parte de los alumnos de la fase I valoran positivamente su familiarización con los procedimientos científicos, en la fase II la respuesta mayoritaria es la de valor medio pero las puntuaciones favorables duplican las desfavorables. Las razones que esgrimen son:

“Estaba estructurado en varios pasos y así me ayuda a seguir un procedimiento científico” (A4-FI).

“Antes no utilizábamos ningún método a seguir y ahora, mas o menos sigo un orden” (A1-FI).

“Un científico tiene que buscar hipótesis, ... esa es la base del buen científico” (A3-FI).

“Seguimos unos pasos para llegar a una solución” (A8-FI).

“Analizan datos y teoría” (A5-FII).

“Así sé cómo lo hacen los científicos y sé que cualquiera puede hacerlo” (A12-FII).

“Teniendo que seguir los mismos procedimientos” (A13-FII).

“Me ha ayudado a pensar las cosas antes de decidirme por algo” (A15-FII).

“Al tener que pensar como realizar el problema conoces como realizarlos de una manera un tanto científica” (A29-FII).

Otros alumnos realizan una valoración positiva basándose en el aspecto práctico de la resolución de problemas:

“Ahora me gusta más ir al laboratorio y experimentar con procedimientos químicos” (A11-FI).

“Porque los problemas experimentales los comprobábamos en el laboratorio” (A15-FI).

“He trabajado con instrumentos” (A1-FII).

“Nunca habíamos hecho así las cosas de forma experimental” (A3-FII).

“Me ha parecido una forma nueva y útil de analizar los problemas” (A14-FII).

“En los prácticos hemos tenido que trabajar en el laboratorio y hemos visto los procedimientos” (A26-FII).

Alguno se sorprende de hacer ejercicios cercanos a la realidad, a su entorno:

“Son como los de verdad” (A21-FII).

“Los experimentos en clase creo que son muy parecidos a los de los laboratorios de verdad” (A25-FII).

Para la cuestión C5, la mayor parte de los alumnos reconocen que los problemas abiertos les ayudan en la resolución de los problemas tradicionales y las razones expuestas aluden a la ayuda que les ha supuesto aprender a pensar en la propia resolución:

“Aprendes a seguir los pasos poco a poco y primero piensas antes de hacerlo” (A7-FI).

“Primero pienso mentalmente como si hiciera un problema abierto y así es más fácil el cerrado” (A14-FI).

“Los vas analizando poco a poco sin darte cuenta que los haces como los abiertos” (A15-FI).

“Con los problemas abiertos he aprendido a razonarlos y así es más fácil” (A24-FI).

“Parecen más fáciles y hay que pensar menos” (A8-FII).

“Los pasos aseguir ayudan a razonar los problemas cerrados” (A14-FII).

“Me ayuda a pensar antes los problemas” (A15-FII).

“Analizas todo el problema” (A21-FII).

“Ahora los resuelvo casi sin pensar y me resulta mucho más fácil” (A25-FII).

“He aprendido a plantearlos” (A26-FII).

“Antes de ponerme a realizar el problema pienso y analizo y luego lo resuelvo” (A29-FII).

Los que valoran negativamente este aspecto esgrimen razones de su preferencia a la mecanización de los problemas, otros valoran bien la ayuda pero lo que analizan como poco positivos son sus propios resultados:

“Como he dicho antes nos gusta mecanizar las cosas” (A3-FI).

“Yo sigo con mi forma habitual aunque se parece a la de los problemas abiertos” (A4-FI).

“Lo único que ayudan es a conocer las fórmulas” (A24-FII).

Incluso alguno no ve la relación entre ellos, aún haciendo el examen de problemas cerrados propuesto por el profesor del grupo control, no se dan cuenta que esos son los que habría realizado en una enseñanza tradicional y contesta:

“No sé, no he hecho ninguno del libro” (A5-FII).

“No me parece que tengan mucho en común” (A27-FII).

2. Incidencia sobre la autoconfianza del alumno (tanto en la propia resolución de problemas como en su actitud hacia las ciencias):

Las cuestiones 6,10 y 12, se refieren a la autoconfianza del alumno. Se les pregunta sobre cómo ha mejorado su confianza al enfrentarse a problemas desconocidos (C6 y C12) y si de alguna manera ha cambiado su forma de ver la Química y Ciencias en general (C10). Los resultados aparecen en la tabla 4.23 y se analizan a continuación.

ORGANIZADOR	ÍTEMS	% Favorables		%Desfavorables	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Autoconfianza del alumno	6	67,9	63,3	7,1	13,3
	10	92,9	36,7	0,0	39,9
	12	64,3	46,6	7,1	23,3
GLOBAL		75,0	48,9	4,7	25,5

TABLA 4.23. VALORES MEDIOS DE LOS DIFERENCIALES SELECCIONADOS POR LOS ALUMNOS PARA LA LOS ÍTEMS DE LA PRUEBA TMRPI SOBRE QUÍMICA PARA EL ORGANIZADOR "AUTOCONFIANZA DEL ALUMNO".

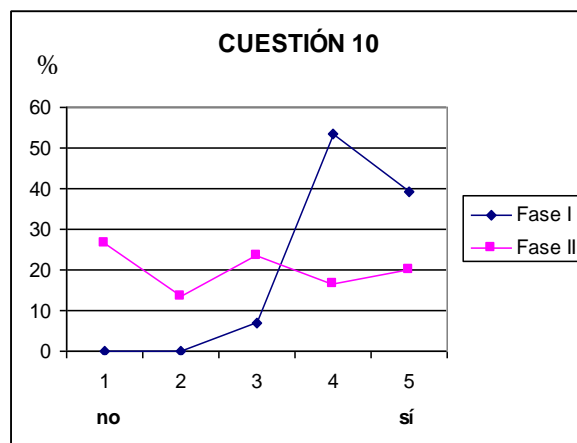
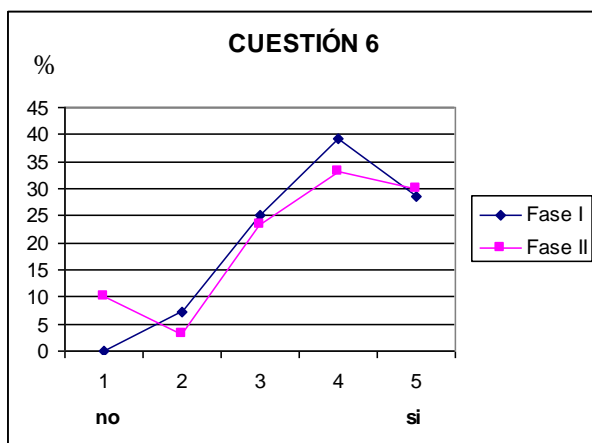
Los alumnos del GEXP de ambas fases presentan diferencias en cuanto a la perspectiva e interés hacia las ciencias en general y la Química en particular (C10). En la primera fase los alumnos señalan claramente dicha actitud (93% favorable y 0% desfavorable), sin embargo en la fase II la opción favorable es superada por la desfavorable (36% frente a 40%). No obstante, de sus explicaciones se recoge que confunden lo que se les

pregunta creyendo que deben señalar si el interés suscitado hará que escojan la Química en 2º de Bachillerato.

Si se compara estos resultados con los obtenidos en el trabajo de investigación de Física, se observan semejanzas con la primera de las fases (66% considera que es favorable y 13% desfavorable). Lo mismo ocurre con la investigación en el ámbito de la Biología (57% frente a 23%).

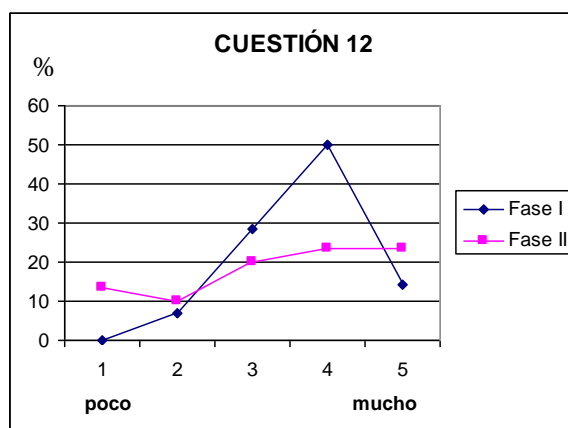
En cuanto a la incidencia de la MRPI sobre la autoconfianza de los alumnos y su capacidad de resolver problemas (C6 y C12) una media del 66% de la primera fase y del 56% de la segunda señala que sí tiene mayor autoconfianza, y que se sienten más capacitados para resolver problemas que antes del aprendizaje con la MRPI. Tan sólo un 7,1% de la primera fase y un 18% de la segunda no lo manifiestan así. Los estudios mencionados anteriormente muestran en Física un 57% de opiniones en sentido positivo y en Biología un 77%.

En la figura 4.18 se recogen las gráficas de porcentajes de estas cuestiones y a continuación se analizan las producciones de los alumnos al respecto.



CUESTIÓN 6: “Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos”

CUESTIÓN 10: “La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Química o las Ciencias en general?”



CUESTIÓN 12: “El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?”

FIGURA 4.18. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CUESTIONES 6,10 Y 12 DEL TMRPI PARA AMBAS FASES.

Para la cuestión 6, la mayoría de los alumnos de las dos fases consideran que esta ayuda resulta muy útil, y las razones suelen ser de nuevo la mayor racionalización de las situaciones:

“Te ayudan a comprenderlos primero antes de hacerlo” (A7-FI).

“Porque ya estoy acostumbrado a pensar” (A28-FII).

“Hago un análisis completo del problema” (A16-FI).

“De esta forma te sientes más capaz para resolverlos” (A20-FI).

En sus respuestas se entrevé más autoconfianza en sí mismos, gran parte reconocen que aunque no lo resuelvan ahora se atreven a plantearse la situación:

“Aunque no llegue a la resolución final, puedo plantearlo” (A4-FI).

“Sí, porque sabré por lo menos cómo estructurarlos” (A13-FII).

Es importante señalar cómo algunos alumnos indican que ahora son capaces de escudriñar cualquier cuestión que se les plantee, incluso alguno alude a la ciencia ficción como forma de resolver algo imposible viendo más allá de lo que parece obvio a simple vista:

“Me ha ayudado a hallar la información de donde creía que no había” (A5 FII).

“Como Neo en Matrix” (A11-FII).

Los que dan la puntuación más negativa esgrimen razones relativas a la diferente naturaleza de cada situación concreta:

“En algunos me ayudarán, en otros no” (A26-FI).

“Cada problema es distinto al resto” (A9-FI).

Para la cuestión 10, la diferencia entre fases es considerable. Mientras en la fase I ningún alumno considera la opción negativa de no aumentar su interés, en la fase dos las opciones positivas y negativas están muy equiparadas.

Los que consideran que sí ha aumentado de forma importante su interés indican diversas razones:

“Me ha ayudado a interesarme más en esta asignatura y a verla más interesante” (A14-FI).

“Me ha parecido muy interesante la biomasa” (A21-FI).

“Me ha resultado más interesante” (A2-FI).

“Había cosas que desconocía” (A10-FII).

“Así entiendo bastantes cosas de la vida cotidiana” (A13-FII).
“He visto la química desde otra perspectiva” (A15-FII).
“Me resulta entretenido y fácil” (A21-FII).
“Quizás ahora me interese un poco más” (A23-FII).
“Antes no me gustaba nada la química y ahora es posible que la siga cogiendo como optativa” (A25-FII).
“Ahora encuentro sentido a la química” (A30-FII).
“Sí, me interesaría estudiar alguna carrera relacionada con la química” (A16-FI).

En base a sus respuestas se detecta cómo en la fase II, la selección de una carrera futura condiciona su respuesta siendo más valorada por alumnos que seguirán itinerarios de ciencias de la salud que los valorados por el itinerario tecnológico. Parece como si al indicar un aumento de interés por la química supusiese que la escogerá en el siguiente año, hecho que no se contempla en la pregunta. Alguno incluso señala claramente una mejor actitud hacia las ciencias y la Química pero en muchos casos se excusan por no escogerla por necesidades de su itinerario:

“La verdad es que la idea me gusta pero la idea que tengo para mi futuro no es la de dar Química” (A1-FII).

Otros alumnos que contestan negativamente lo hacen de forma muy dispar, desde aquel que ya partía de una actitud positiva y por tanto no le aporta nada como el que lo ve como algo impuesto por el currículo:

“Ya me interesaba antes” (A27-FII).
“Ya que a mí no me gustaban antes” (A24-FI).
“A mí me gusta más lo de las fórmulas que la teoría” (A20-FII).
“No me ha llamado la atención la forma en que se han planteado las clases” (A24-FII).
“No ha aportado nada a las que ya tenía” (A29-FII).

En cuanto a la cuestión 12, se detectan de nuevo diferencias entre las fases. En la fase I las respuestas favorables son claramente mayoritarias y en la fase II los valores son más moderados, duplicando aún así las respuestas negativas. Ejemplos de respuestas favorables son:

“Ahora me veo con más habilidad y experiencia ante cualquier problema” (A14-FI).
“Me he dado cuenta de que puedo resolver problemas que a primera vista parecen muy complicados” (A13-FI).
“Mucho ya que yo antes lo veía y no lo pensaba y ahora al pensarlo me parece más fácil y lo resuelvo mejor” (A24-FI).
“Primero intento ver cómo sería mentalmente” (A7-FI).
“Antes no sabía por dónde empezar pero con esto ya sé un poco más” (A10-FI).
“Me ha ayudado bastante a expandirme” (A8-FII).

“Así se que con más organización salen las cosas mejor” (A13-FII).

“Te ayuda luego a realizarlos con más facilidad” (A20-FII).

“Te sientes más seguro al pensar y racionalizarlos más” (A21-FII).

“Estoy empezando a confiar más en mis capacidades” (A23-FII).

“Ahora no me asustan cuando leo los enunciados” (A30-FII).

Algún alumno se siente muy confiado:

“Ahora puedo resolverlos todos” (A25-FII).

Las razones de sus valoraciones negativas son muy variadas y en algunas respuestas se detecta la resistencia que existe a cambiar la metodología de trabajo:

“Pero sólo problemas de química” (A8-FI).

“Creo que los problemas no ayudan a eso” (A26-FI).

“Lo que ha hecho es perderme más” (A3-FII).

“Sigo haciéndolos como antes y no pienso hacerlos como un problema abierto” (A24-FII).

“Lo que me ha ayudado es a hacerlos, no a aumentar mi autoconfianza” (A28-FII).

Es curioso el caso de un alumno que respondiendo negativamente asume en su respuesta un avance en su aprendizaje:

“Al menos llego a plantearlos” (A4-FI).

3. Metodología de trabajo (factores relacionados tanto con la metodología de trabajo como con el papel desarrollado por el profesor):

En las cuestiones 7 y 11 los alumnos expresan su opinión sobre el papel del profesor en el proceso (C7) y la metodología empleada (C11). Los valores se reflejan en la tabla 4.24.

ORGANIZADOR	ÍTEMS	% Favorables		%Desfavorables	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Metodología de trabajo	7	96,4	46,6	0,0	6,7
	11	71,4	43,3	3,6	26,6
GLOBAL		83,9	45,0	1,8	16,7

TABLA 4.24. VALORES MEDIOS DE LOS DIFERENCIALES SELECCIONADOS POR LOS ALUMNOS PARA LA LOS ÍTEMS DE LA PRUEBA TMRPI SOBRE QUÍMICA PARA EL ORGANIZADOR "METODOLOGÍA DE TRABAJO".

El 96% de los alumnos de la fase I valora positivamente el papel del profesor así como la metodología empleada (71%). En la fase II, aún siendo

mucho más importantes las opciones favorables que las desfavorables (47 y 43% frente a 7 y 27%), los valores son mucho menores que en la fase I por ser considerables las puntuaciones medias de dichas cuestiones. Por otro lado, ningún alumno de ninguna fase considera inútil su ayuda y las respuestas negativas hacia la metodología son poco significativas, sobre todo para la primera fase (3%), y minoritarias para la segunda (27%). En los estudios mencionados de Física los porcentajes son muy parecidos a la fase I (91% favorables frente al 6% para C11 y 100% para C7), y lo mismo sucede en Biología (80% para C11 y 63,3% para C7 frente a 13%).

En la figura 4.19 se recogen las gráficas de porcentajes de estas cuestiones y a continuación se analizan las producciones de los alumnos al respecto.

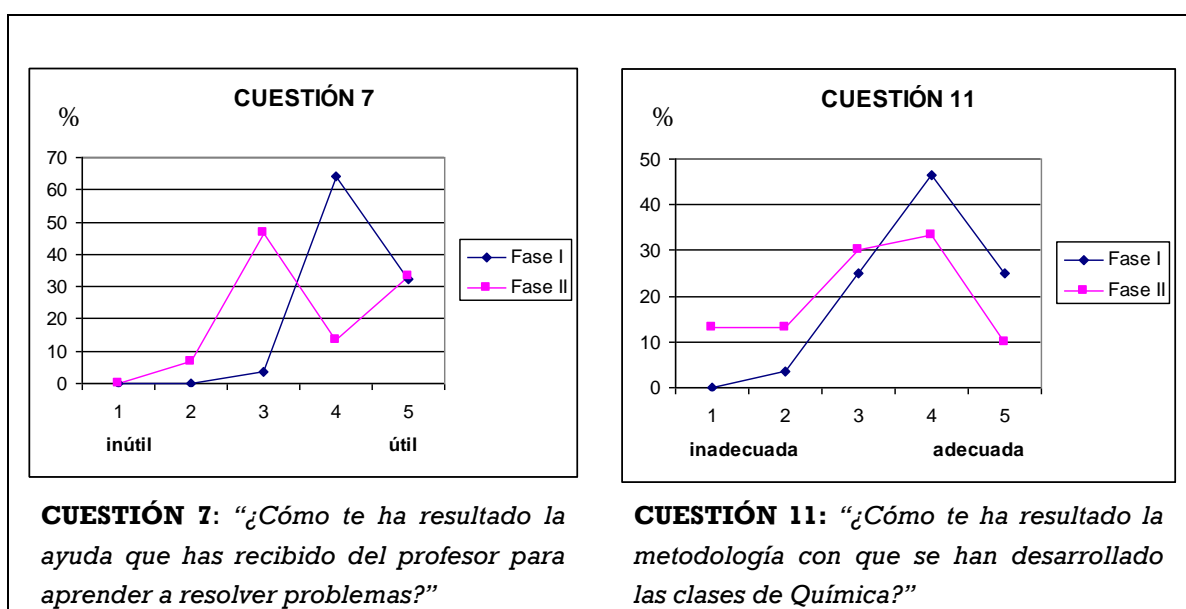


FIGURA 4.19. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CUESTIONES 7 Y 11 DEL TMRPI PARA AMBAS FASES.

Prácticamente, todos los alumnos de la fase I reconocen la ayuda de la profesora investigadora (C7) como muy importante y, en la fase dos, aún no habiendo casi puntuaciones negativas el porcentaje de la valoración media es muy elevada.

Entre los valores positivos las razones expuestas son diversas, desde la ayuda concreta a sus dudas hasta los que opinan que la labor del profesor es imprescindible como experto:

“Nos guiaba hacia la solución correcta sin decírnosla, para que pensásemos” (A.28-FI).
“Nos lo explicaba hasta que lo entendíamos aunque tuviera que estar toda una hora con un problema” (A5-FI.)
“Un profesor es base para un buen aprendizaje” (A3-FI).
“Sin los pasos que nos enseñó no podríamos haberlos hecho” (A9-FI).
“En ocasiones, si no se recibía ayuda del profesor, no se sabía resolver los problemas” (A20-FI).
“Nos ha ayudado mucho, cuando algo estaba mal en los problemas nos lo corregía muy detalladamente y lo comprendía” (A1-FII).
“Existe una comunicación entre alumno y profesor bastante buena” (A28-FII).

Los hay incluso prácticos:

“Siempre es mejor recibir ayuda de alguien que sabe que no estudiárselo tú sola” (A14-FI).

Las valoraciones bajas tienen que ver con la temporalización, o con no solicitar la ayuda de forma personal:

“Íbamos bastante rápido y muchas veces las cosas no quedaban claras” (A25-FI).
“Las dudas las he tenido que resolver por mi cuenta” (A16-FII).

En cuanto a la metodología (C11) se marcan de nuevo diferencias entre las fases, tan sólo un alumno de la fase I considera la metodología poco adecuada, mientras en la fase II, aun siendo las respuestas negativas minoritarias el porcentaje de éstas aumenta de forma considerable.

Las razones positivas que expresan los alumnos hacia la nueva metodología son la novedad, motivación y ayuda a racionalizar situaciones:

“Hemos visto videos, problemas abiertos y cosas “fuera de lo normal”” (A4-FI).
“He entendido las explicaciones y me han gustado las clases” (A.13-FI).
“Han sido más entretenidas que en cursos anteriores y se te queda mejor las cosas” (A14-FI).
“Lo explicaba todo lo que hiciera falta y nos ha ayudado mucho” (A24-FI).
“Bastante difícil llevar esta clase” (A10-FII).
“Hemos variado la forma de dar clase, me parece mejor hacer problemas que estudiar el libro” (A14-FII).
“Se ha explicado de forma fácil y sencilla” (A21-FII).

En cuanto a las razones más desfavorables se refieren al ritmo del curso, hay que recordar que en primero de bachillerato el temario es muy denso. Aunque las opiniones sobre el ritmo son variadas:

“Se ha ido un poco deprisa pero se ha podido ver mucha materia” (A11-FI).
“La metodología me parece buena pero se ha ido demasiado rápido” (A22-FI).

“En ocasiones íbamos muy rápido y en otras muy despacio” (A22-FI).

“Me ha resultado correcta, con un ritmo muy bueno” (A1-FI).

“Se ha perdido mucho tiempo” (A3-FII).

“En general la clase es inaguantable pero la metodología ha estado bien” (A20-FII).

“Casi no teníamos tiempo para otras cosas los últimos días” (A26-FII).

Es curioso que alguno ya asimile la metodología no como novedosa, sino como algo normal y la asuma como lo que debe ser, y no como algo extraordinario. Incluso algún estudiante señala que de otra forma es difícil hacerles trabajar:

“No me la imagino de otra manera” (A11-FII).

“Era la mejor manera que se podía haber dado la clase para que la gente trabajara” (A13-FII).

4. Posible transposición de conocimientos a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano):

Las cuestiones 8 y 9 investigan la opinión del alumnado sobre cómo pueden aplicar los procedimientos aprendidos tanto a situaciones de la vida cotidiana (C8), como a la resolución de problemas en otras asignaturas (C9). Los resultados aparecen en la tabla 4.25 y se analizan a continuación.

ORGANIZADOR	ÍTEMS	% Favorables		%Desfavorables	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
Transposición de conocimientos	8	28,6	3,3	39,3	59,9
	9	64,3	53,4	3,6	13,3
GLOBAL		46,5	28,4	21,5	36,6

TABLA 4.25. VALORES MEDIOS DE LOS DIFERENCIALES SELECCIONADOS POR LOS ALUMNOS PARA LA LOS ÍTEMS DE LA PRUEBA TMRPI SOBRE QUÍMICA PARA EL ORGANIZADOR "TRANSPOSICIÓN DE CONOCIMIENTOS".

La transposición de lo aprendido a otras asignaturas como la física (C9) resulta ser útil para la mayoría de los alumnos (64% en la fase I y 53% en la II) y tan sólo un 4% y un 13% consideran las opciones opuestas.

En la cuestión acerca de la aplicabilidad a otras situaciones de la vida cotidiana (C8), el 39% de la fase I y el 60% de la fase II consideran que esta metodología no les ayudará en la resolución de situaciones cotidianas. Tan sólo un 29% en la fase I y, un 3% de la fase II, ven dicha relación posible. Precisamente se presenta una situación semejante en la investigación llevada a cabo en el ámbito de la Física:

“Destacaremos en este punto los comentarios de los alumnos, una tercera parte, que no ven relación entre el aprendizaje realizado y las situaciones reales fuera del aula, este dato nos ha sorprendido desfavorablemente....” (Varela,1994, p. 383)

Sin embargo en el estudio de Ibáñez (2003) para Biología los resultados son diferentes. Para la C9 las valoraciones positiva y negativa estaban equilibradas (27% en cada una de ellas) lo que indica que los estudiantes de Biología no ven clara la transferencia a otras disciplinas como la Química o la Física. Sin embargo el 70% ve clara una transposición a los problemas cotidianos (C7), no manifestando ningún alumno su poca utilidad en ese sentido.

Esta diferencia con Biología y semejanza con Física se debe a la naturaleza de las propias disciplinas. Como ya señalaba Ibáñez al comparar sus datos con los obtenidos por Varela:

“Sólo se han detectado diferencias en relación a la transposición de estos conocimientos. Los estudiantes de Física, frente a los de Biología, ven más factible usar esta metodología en otras disciplinas científicas. Sin embargo, los estudiantes de Biología, frente a los de Física, ven más fácil la aplicación de estos conocimientos a resolver cuestiones de la vida cotidiana. Esta diferencia se debe a la naturaleza de las dos disciplinas académicas, tanto por el uso habitual de problemas, como por la cercanía de los contenidos con la realidad del alumnado” (Ibáñez.2003. p. 507).

En la figura 4.20 se recogen las gráficas de porcentajes de estas cuestiones y a continuación se analizan las producciones de los alumnos al respecto.

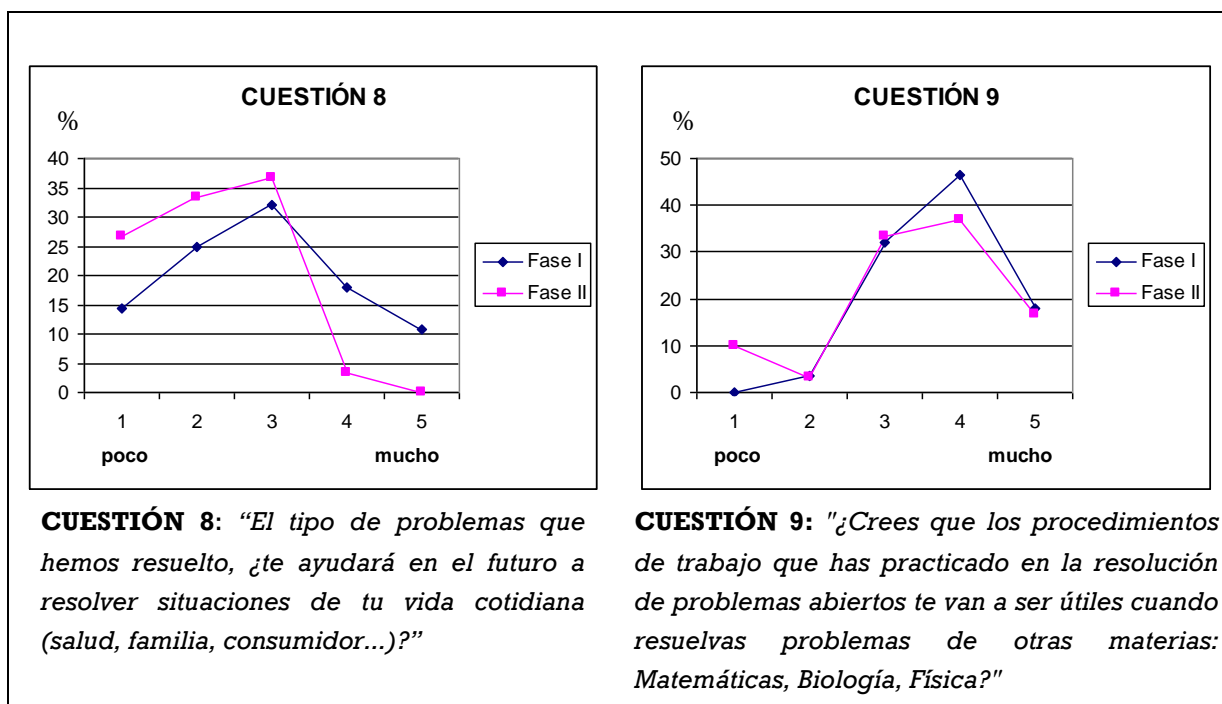


FIGURA 4.20. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CUESTIONES 8 Y 9 DEL TMRPI PARA AMBAS FASES.

Para la cuestión 8 las repuestas se reparten. Aún siendo mayoritarias en ambas fases las valoraciones intermedias, los porcentajes de opiniones desfavorables superan las favorables, las razones que dan en ambos sentidos son contradictorias.

Muchos de los que lo valoran negativamente asumen la exigencia de encontrarse enunciados parecidos sobre biomasa, no opinan sobre la química cercana en sí misma o sobre sus nuevas habilidades, y por tanto no es raro que piensen que nadie les va a proponer una situación concreta de ese tipo. Se centran pues en los problemas planteados no en nuevas situaciones:

“Todavía no me han surgido problemas de la vida que se parezcan a los problemas resueltos” (A2-FI).

“Si entras en un trabajo de química, te servirá mucho” (A3-FI).

“No creo que me pregunten o me suelen suceder sucesos referentes a esos problemas” (A18-FI).

“No tiene mucha relación” (A6-FII).

“No creo que mi vida tenga que ver demasiado con eso” (A10-FII).

“Me parece que esa no es una comparación razonable” (A16-FII).

“Yo creo que no porque los problemas sólo han sido de Química” (A20-FII).

“No creo que en mi vida necesite saber cómo se hace aceite con el maíz, pero algunos sí son útiles” (A20-FII).

“No creo que vaya a vivir cosas como las que he experimentado en el laboratorio” (A25-FII).

“No es lo mismo la teoría que la práctica” (A28-FII).

En el lado opuesto están los que ven que ya eran situaciones de nuestro entorno y que les ayuda en el aprendizaje de procedimientos:

“Me ha ayudado a entender problemas que me afectan” (A27-FI).

“Así tendremos más cuidado con problemas sobretodo ambientales de los que no había oído hablar” (A28-FI).

“Eran casos de la vida cotidiana” (A16-FI).

“Muchas cosas de química están relacionadas con lo que ocurre en nuestra vida y en la naturaleza” (A15-FI).

“Como ya he dicho anteriormente hemos aprendido muchas cosas prácticas, en vez de sólo cuentas matemáticas” (A5-FI).

“No lo sé, puede que piense antes de hacer las cosas” (A7-FI).

En cuanto a la extrapolación a otras asignaturas, C9, la mayor parte de los alumnos de ambas fases consideran esta metodología como adecuada para resolver otros problemas. Las razones son la racionalización de la situación problemática antes de ponerse a intentar resolverlo:

“Sí porque en todo hay que seguir cierto orden y claridad para resolver todo tipo de problemas” (A1-FI).

“Porque primero los razonaré y después los haré” (A7-FI).

“Te ayuda a pensar más rápidamente” (A.21-FI).

“Nos ayuda a explicarnos mejor” (A8-FII).

“Es una buena forma general bastante buena para estructurar” (A13-FII).

“Pienso y luego resuelvo” (A15-FII).

“Los vamos a pensar más” (A21-FII).

“Es una forma de planificarse los problemas” (A25-FII).

“Me fijo más en el problema” (A28-FII).

“Al hacerlos pienso y analizo” (A29-FII).

Pocos alumnos de las dos fases consideran que no les serviría y las razones son el tipo de asignaturas que se les proponen y que pretenden encontrarse exactamente los mismos problemas allí y no situaciones completamente distintas a las que aplicar la metodología:

“Había muchas operaciones y palabras que también pertenecen a esas materias” (A18-FI).

“En alguna puede, pero en mate y biología no creo” (A26-FI.)

“Tal vez matemáticas algo” (A10-FII.)

“Yo creo que no mucho porque los problemas sólo han sido de Química” (A19-FII).

“En tecnología algunos problemas de rendimientos, %, son similares” (A23-FII).

“No son iguales ni parecidos” (A27-FII).

Algún alumno sólo ve el problema cerrado como posibilidad en otras asignaturas:

“Únicamente tendría que ver la parte final y todo lo del principio no serviría” (A24-FII).

Tras este análisis se puede llegar a una serie de consideraciones respecto a los aspectos actitudinales que se han estudiado a partir de las opiniones de los protagonistas del proceso de aprendizaje:

- Los resultados obtenidos dependen en gran medida de la muestra estudiada, obteniéndose para las dos fases porcentajes que difieren entre sí de forma considerable.

Aunque con diferencia entre las muestras de forma general se observa que:

- La MRPI genera interés principalmente porque la forma de trabajar ayuda a racionalizar, y evita la sistematización de los problemas. Por tanto los alumnos profundizan y comprenden mejor los conceptos químicos.
- La resistencia de los alumnos ante la MRPI se relacionan con el esfuerzo y dificultad que les supone esta metodología de trabajo.
- Los alumnos reconocen como positivo el aprendizaje de procedimientos y su trasposición efectiva a la resolución de problemas en otras disciplinas como física o matemáticas. En este punto coinciden con las opiniones de alumnos de otros estudios de física pero no con los de biología.
- En general, los alumnos valoran positivamente la relación entre las situaciones planteadas y los problemas actuales, como el problema de las energías y su relación con el medioambiente, aunque muchos no reconocen que este tipo de problemas les pueda ayudar en la vida cotidiana, pues piensan en los enunciados concretos y no en situaciones más generales o en la propia metodología.

- La MRPI genera en los alumnos un grado de confianza mayor ante la resolución de problemas tanto abiertos como cerrados, no sólo en relación a cuestiones de Química sino también en otras asignaturas.

Por ello se puede constatar que

Los alumnos del GEXP, que han trabajado según una MRPI, asumen como positivo su aprendizaje a través de esta metodología y reconocen su utilidad para transferirlos a otras asignaturas aunque no a situaciones de la vida cotidiana aunque los resultados vienen marcados por la influencia de la muestra.

Tras analizar todos los resultados derivados de la contrastación de las hipótesis de trabajo H1 a H5, se va a terminar haciendo una reflexión sobre posibles modificaciones de los instrumentos de recogida de información a tener en cuenta:

- En los test de Química realizar las preguntas sobre interpretaciones microscópicas de las reacciones químicas de forma abierta tanto en el test inicial como en el final (por ejemplo sustituir la cuestión C9 del Test de química inicial de la fase II por uno semejante al utilizado en el momento final de esa fase I, C8, u otro semejante).
- En la cuestión C10 del TMRPI, en la que los alumnos son preguntados por las nuevas perspectivas abiertas por la metodología hacia la química, especificar que no importa si la van a cursar o no. Se pretende que indiquen su forma de ver ahora la Química no si la van a cursar, lo que parecen entender algunos alumnos del presente trabajo a la luz de sus respuestas.
- En los test sobre conceptos de medioambiente intentar modificar las preguntas sobre efecto invernadero y cambio climático para profundizar más en estos aspectos y poder descubrir si hay variación en su aprendizaje.

- La posible modificación de los test de actitudes (en la dirección del TACT3) tanto en el pretest como en el posttest, para que los alumnos respondan de forma abierta sin ninguna influencia de las opciones y evitar respuestas mecánicas. Así se podrán observar en ambos momentos no sólo sus ideas, sino también como la mayor o menor verbalización de sus explicaciones y, además, se facilitará la comparación estadística de las respuestas en ambos momentos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

En este capítulo se agrupan las reflexiones finales del presente trabajo de investigación, desarrollado dentro del ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, en la disciplina de Química y para el nivel de primero de Bachillerato. Su finalidad ha sido comprobar el cambio conceptual, procedimental y actitudinal logrado por el alumnado al desarrollar en el aula una Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI), y su comparación con el producido en alumnos que siguen una metodología de clase más tradicional.

Para ello, ha sido necesario diseñar una serie de materiales de trabajo organizados en la Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa”. En ésta se incluye una secuencia de situaciones problemáticas abiertas que ha permitido trabajar los contenidos curriculares sobre reacciones químicas, y también sobre medioambiente, dentro de un enfoque CTSA.

El trabajo de investigación, de diseño cuasiexperimental, se ha planteado en base a la contrastación de cinco hipótesis de trabajo. A partir de las respuestas dadas por los alumnos a una serie de cuestionarios elaborados específicamente para esta investigación y tomados de otras, se ha podido analizar, con diferentes pruebas estadísticas, la evolución en los aprendizajes experimentado por los alumnos de los grupos experimentales y su comparación con la lograda por los alumnos de los grupos control. Se han realizado dos estudios en dos cursos académicos y con muestras diferentes (fase I y fase II) para asegurar que los resultados son aplicables al universo de los alumnos de primero de bachillerato.

5.1 CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones siguiendo el mismo esquema de contrastación de las hipótesis planteadas en la investigación, H1 a H5.

a) En relación a procedimientos de resolución de problemas (H1 y H2):

La metodología de enseñanza, MRPI, llevada a cabo por los estudiantes de los grupos experimentales para la resolución de situaciones problemáticas abiertas incluidas en la Unidad Didáctica “Reacciones Químicas y Biomasa” ha resultado eficaz pues:

- *Los estudiantes, en el desempeño de los procedimientos implicados en la propia MRPI, presentan una evolución estadísticamente significativa hacia niveles más complejos de resolución de las variables metodológicas y de verbalización.*
- *Esta evolución es estadísticamente significativa a lo largo de toda la sucesión de problemas planteados, siendo los alumnos capaces de transferir la metodología aprendida de un tipo de problema a otro, tanto experimentales como de lápiz y papel, encontrándose, en ciertos momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje, variaciones no estadísticamente significativas.*

Un análisis pormenorizado de las variables metodológicas muestra resultados comunes a ambas fases y específicos para cada una de ellas. En general para ambas fases se ha observado que:

- *Al final del proceso de enseñanza, el aprendizaje logrado en relación a los procedimientos científicos presentes en las variables metodológicas, ha alcanzado niveles de resolución altos en todas ellas, con diferencias escasas entre sus valores medios.*
- *La variable metodológica que obtiene mejores resultados de aprendizaje en el momento final es la VM1, análisis cualitativo del problema.*
- *El análisis cualitativo del problema, VM1, y la elaboración de estrategias de resolución, VM3, son las variables que alcanzan puntuaciones más altas en los primeros problemas, en ambas fases, y las que obtienen resultados medios significativamente mejores. Esa posición inicial aventajada hace que presenten incrementos intermedios durante el desarrollo de la unidad didáctica.*
- *Los alumnos encuentran mayor dificultad en la emisión de hipótesis, VM2, y la resolución del problema, VM4. Al comienzo del proceso éstas son las peor puntuadas y las que a lo largo del mismo presentan resultados peores. Sin embargo, los aprendizajes logrados son muy relevantes pues partiendo de niveles bajos alcanzan, en el momento final, valores semejantes al resto, mostrando por ello las evoluciones más importantes.*

En cuanto a resultados diferenciados según la fase:

- *En la fase I, los alumnos presentan en relación al análisis de resultados, VM5, un gran incremento global y valores medios ligeramente superiores a la media de todas ellas. En la fase II los valores medios son similares a la media de las variables siendo la que menos evoluciona y la peor valorada en el último problema.*

Por otra parte, en cuanto a la resolución de problemas cerrados, se ha comprobado la eficacia de la MRPI ya que:

- *El aprendizaje llevado a cabo por los estudiantes de los grupos experimentales, a través de una metodología investigativa (MRPI), les capacita para resolver con éxito de problemas cerrados, aunque no han sido entrenados específicamente para ello.*
- *Los alumnos de los grupos experimentales, logran un mejor desempeño en la resolución de problemas cerrados de química (escritura y ajuste de una ecuación química, cálculos estequiométricos, identificación de reactivo limitante y cálculos energéticos) que los alumnos de los grupos control, que han desarrollado una metodología de enseñanza basada, exclusivamente, en la resolución de este tipo de problemas.*

a) En relación al cambio conceptual (H3):

El éxito de la MRPI en cuanto a la consecución del cambio conceptual sobre reacciones químicas y medioambiente se pone de manifiesto en ambos estudios empíricos pues:

- *Los estudiantes del grupo experimental, tras el trabajo realizado en la Unidad Didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa", modifican de forma estadísticamente significativa sus concepciones alternativas sobre reacciones químicas (identificación de procesos físicos y químicos, conservación de la masa, representaciones macroscópicas y microscópicas, relaciones estequiométricas, reactivo limitante,*

combustión, energía de enlace, balance energético y conservación y degradación de la energía).

- *El aprendizaje de los conceptos de química señalados es significativamente mayor cuando se trabaja con la MRPI (grupo experimental) que cuando se hace con metodología tradicional (grupo control).*
- *El cambio conceptual conseguido por los estudiantes de los grupos experimentales, en relación a contenidos sobre reacciones químicas permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos estadísticamente significativos tras un periodo de tres a cuatro meses.*
- *Los estudiantes del grupo experimental, después de trabajar con la Unidad Didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa", modifican de forma estadísticamente significativa sus conocimientos sobre medioambiente en relación a crisis energética, energías renovables, biomasa, problemas medioambientales y sobre la salud derivados del uso de las fuentes de energía, ciclo del CO₂ en la combustión de la biomasa, pero no se detectan cambios significativos en relación al efecto invernadero y al cambio climático.*
- *El aprendizaje de los conceptos medioambientales es significativamente mejor cuando se trabaja con la MRPI (grupo experimental) que cuando se hace con una metodología más tradicional (grupo control).*

Por otra parte, si se comparan las respuestas en los cuestionarios finales dadas por los alumnos de los grupos experimentales y de control se observa que:

- *Las respuestas dadas a las cuestiones planteadas sobre química y medioambiente presentan mayor complejidad en los razonamientos y, un nivel más elevado de verbalización, en los estudiantes de los grupos experimentales frente a las del grupo control.*

c) En relación a actitudes (H4 y H5):

En cuanto a la actitud que manifiestan los estudiantes investigados hacia los problemas medioambientales (H4) se observa que:

- *En los alumnos que han implementado la Unidad Didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa" se puede considerar una evolución hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente.*
- *En los dos estudios empíricos llevados a cabo, existen diferencias estadísticamente significativas en la evolución hacia actitudes positivas de conservación y preocupación por el medioambiente a favor de los grupos experimentales respecto a los grupos control.*
- *Las producciones finales de los alumnos de los grupos experimentales son más elaboradas y muestran una mayor verbalización que las del grupo control donde predominan las frases cortas y enumeraciones.*

En cuanto a las actitudes hacia la propia metodología de enseñanza, MRPI, (H5):

- *En ambas fases, los alumnos de los grupos experimentales, presentan una actitud favorable hacia la metodología y asumen como positivo el aprendizaje realizado gracias a ella.*
- *La reticencia de algunos alumnos hacia la MRPI se relaciona con el esfuerzo y dificultad que conlleva.*
- *Los estudiantes reconocen la utilidad de los procedimientos propios de la MRPI, y la posibilidad de transferirlos a la resolución de problemas en otras asignaturas aunque, no claramente, a situaciones de la vida cotidiana.*
- *Los resultados obtenidos dependen en gran medida de la muestra estudiada, obteniéndose para las dos fases porcentajes que difieren entre sí de forma considerable.*

Si se comparan los resultados en relación a las actitudes hacia la metodología de trabajo en el aula (H5) y los resultados referidos a los cambios conceptuales y procedimentales (H1 a H3) que se logran, y que se han comentado anteriormente, se pone de manifiesto que:

- *La mayor o menor reticencia de los estudiantes hacia el esfuerzo que supone la MRPI, diferenciada en las dos fases, no influye en la significatividad de los aprendizajes alcanzados relativos a conceptos y procedimientos (H1, H2 y H3).*

Es importante destacar que todas las hipótesis que se han formulado para esta investigación se han contrastado de forma estadísticamente significativa a favor de los aprendizajes de los estudiantes de los grupos experimentales y, cuando corresponde, en comparación con los del grupo control. Tan solo en una subhipótesis sobre actitudes (H4.2) para la fase II, no se ha podido hacer una comparación en términos estadísticos por el diseño de la prueba, pero en términos de frecuencia de las respuestas si se observa una mejora en las actitudes del grupo experimental frente al control.

Por tanto, y para terminar, se puede decir que la intención con la que se inició este trabajo de investigación se ha cumplido pues se ha conseguido demostrar que:

"A través de la resolución de situaciones problemáticas de química, mediante la metodología indagativa de resolución de problemas por investigación (MRPI), los alumnos logran aprendizajes significativos sobre conceptos, procedimientos y actitudes y, estadísticamente mejores que los alcanzados por alumnos que siguen una metodología de enseñanza más tradicional."

5.2. APORTACIÓN GLOBAL A LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se realiza una nueva contribución al conocimiento didáctico sobre la calidad de los aprendizajes escolares logrados mediante la indagación, en particular del aprendizaje basado en problemas (ABP), en concreto con la MRPI, para la resolución de situaciones problemáticas abiertas.

Este trabajo, para primero de bachillerato y sobre reacciones químicas, complementa los ya presentados para la educación secundaria en el campo de la Física para electricidad y mecánica (Varela, 1992) y en Biología para genética (Ibáñez, 2003). Así, la MRPI se revela como una metodología de enseñanza-aprendizaje de calidad en el campo de las ciencias pues:

- *La MRPI, que incluye los procesos (variables metodológicas) y actitudes propias de la investigación científica, promueve el aprendizaje de dichos procedimientos o dimensiones de la competencia científica.*
- *El aprendizaje basado en problemas permite, además, realizar aprendizajes significativos de los contenidos curriculares básicos así como potenciar actitudes positivas hacia el entorno.*
- *La MRPI se ha revelado como una metodología de enseñanza que permite y favorece el cambio conceptual posibilitando el cambio de ideas de los alumnos, ayudando a la superación de la resistencia al cambio y favoreciendo la reelaboración de éstas, siendo además un cambio persistente en el tiempo.*
- *La utilización de este tipo de metodología resulta útil para el cambio conceptual independientemente del contenido abordado, el nivel de los alumnos y del área de conocimiento desde la que se trabaje.*
- *El diseño de situaciones problemáticas contextualizadas, su adecuada secuenciación, así como la elaboración de materiales complementarios para su resolución, ayudan a la construcción y reelaboración de los conocimientos de los alumnos durante el propio proceso de indagación.*

Es decir, la MRPI es coherente con el paradigma constructivista del aprendizaje.

- *Este tipo de metodología inductiva ha resultado más eficaz para el aprendizaje de los alumnos que los métodos deductivos tradicionales, lo que aporta nuevos datos en apoyo de la recomendación de los expertos (Informe Rocard, 2007).*
- *La MRPI, que implica el trabajo en el aula mediante grupos cooperativos, potencia el aprendizaje individual.*
- *La explicitación del proceso de resolución de las situaciones problemáticas (variable de verbalización) plasmada en las producciones escritas (individuales y grupales) y las puestas en común en el aula, desarrolla destrezas de fluidez verbal y escrita.*
- *La MRPI es más eficaz que los métodos deductivos tradicionales para favorecer una mayor verbalización, tanto en las justificaciones dadas en las respuestas sobre las cuestiones sobre conocimientos científicos como en las actitudes manifestadas hacia el medioambiente.*

En síntesis, esta tesis es una aportación directa a la consolidación del paradigma de enseñanza de las ciencias por indagación, Inquiry-Based Science Education (IBSE), en concreto en la enseñanza de la Química en la educación secundaria post-obligatoria. Pero, además de las aportaciones a la didáctica, este trabajo es de interés desde el punto de vista de la innovación educativa por su aplicación en el aula. En ese sentido, la presente investigación realiza una aportación de recursos e información que pueden ser utilizados por profesores de enseñanza secundaria que deseen implantar metodologías de tipo indagativo para el aprendizaje de la Química. En concreto:

- *La recopilación de datos sobre concepciones alternativas, la elaboración de plantillas de MRPI adaptadas, materiales de la unidad didáctica, test elaborados sobre contenidos, etc. pretenden ser de ayuda a los profesores de enseñanza secundaria y a los investigadores en didáctica de las ciencias experimentales.*

- *La Unidad Didáctica "Reacciones Químicas y Biomasa" es una propuesta de trabajo que permite atender a los requerimientos curriculares actuales a través de la adquisición de destrezas básicas. La resolución mediante la MRPI de las situaciones problemáticas que incluye, supone el análisis de las situaciones, la propuesta de hipótesis de trabajo, la planificación de estrategias para su comprobación, el análisis, discusión y comunicación de de resultados, etc., habilidades todas ellas requeridas para alcanzar la competencia científica.*
- *La Unidad Didáctica propuesta es un material de aula de carácter CTSA que puede contextualizarse en cada situación, adaptándose así a las particularidades del alumnado para favorecer su motivación. Se recoge así la intención original de su diseño como materiales "vivos".*

Con la aportación de estos materiales y su desarrollo en el aula se desea superar la dificultad de la implementación de la enseñanza por indagación, debida no solo a la falta de formación del profesorado sino, principalmente, al considerable requerimiento temporal que supone preparar materiales de aula adecuados. Cabe recordar que la realización de los dos estudios empíricos, con muestras de diferentes localidades y orientaciones académicas, corrobora la aplicabilidad de estos materiales a diferentes contextos.

5.3. PERSPECTIVA DE FUTURO

De las reflexiones recogidas anteriormente, surgen nuevas intenciones para futuros trabajos de investigación dirigidos tanto a alumnos incluidos en los programas educativos ordinarios como en los de atención a la diversidad, que se concretan en:

- *Diseñar unidades didácticas sobre reacciones químicas basadas en la MRPI para su aplicación a otros niveles de enseñanza secundaria.*
- *Elaborar unidades didácticas de las mismas características que aborden otros contenidos de Química en todos los niveles de la enseñanza secundaria.*
- *Aprovechar el carácter interdisciplinar de la Unidad Didáctica investigada, que incluye aspectos de Química, Biología o Tecnología,*

para diseñar materiales en programas educativos como el de "diversificación curricular" o "formación profesional básica", donde se trabajan de forma conjunta disciplinas de el Física, Química, Matemáticas, Tecnología, Biología y Geología agrupadas en una sola asignatura llamada "ámbito científico tecnológico".

- *Reproducir la investigación sobre el aprendizaje por resolución de problemas, implementando las unidades didácticas anteriormente referidas a los correspondientes niveles educativos.*
- *Comprobar que la MRPI promueve los aprendizajes no solo en alumnos que cursan programas educativos ordinarios sino también en alumnos con problemas de aprendizaje o desmotivados hacia las asignaturas científicas, que generalmente no poseen destrezas básicas en áreas instrumentales (programa de diversificación curricular, formación básica o integración).*
- *Investigar la influencia del grupo cooperativo en el aprendizaje individual durante el proceso de la resolución de problemas.*
- *Profundizar en el estudio de las actitudes científicas, diseñando test que sean operativos y fáciles de analizar.*

En la actualidad, la profesora investigadora ha comenzado a trabajar con la MRPI en grupos de diversificación con interesantes resultados (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013).

BIBLIOGRAFÍA

Agustench, M., Del Castillo B., Del Barrio, J. I. & Romo, N. (2000). *Física y Química 1º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y la Salud/Tecnología*. Madrid: Ediciones SM.

Abd-el-khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G, Mamlok-Naaman, R. , Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88, 397–419.

Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: what research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1),1-12.

Anderson, P. H. & Lawton (2007) Simulation performance and its effectiveness as a problem: a follow-up study. *Developments in Business*.

Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549-563.

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations *Simulation and experiential learning*, 34, 43-50.

Ash, D., Greene, C. & Austin, M (2000). Teachers' innovations in k–8 science, math and technology. *Inquiry by Teachers. CONNECT*, march–april,1-2. Consultado el 1 de septiembre de 2013 en <http://www.exploratorium.edu/ifi/resources/classroom/connect/connect.pdf>.

Atar, H. Y. (2011). Investigating the factors that impede or facilitate the integration of inquiry into middle school science. *Asia-Pacific Education Researcher*, 20, 543-558.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rhinehart & Winston. (Trad. cast. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (1976). México: Trillas).

Balfakih, N. M. A. (2003) The effectiveness of student team-achievement division (STAD) for teaching high school chemistry in the United Arab Emirates, *International Journal of Science Education*, 25(5), 605-624, DOI: 10.1080/09500690110078879. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690110078879>

Barak, M., Ben-Chaim, D. & Zoller, U. (2007). Purposely teaching for the promotion of higher-order thinking skills: a case of critical thinking. *Research in Science Education*, 37(4), 353-369. DOI 10.1007/s11165-006-9029-2.

Barbosa, R., Jofili, Z. & Watts, M. (2004). Cooperating in constructing knowledge: case studies from chemistry and citizenship. *International Journal of Science Education*, 26(8), 935-949.

Barker, V. (1999). Students reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course?, *International Journal of Science education*, 21(6), 645-666.

Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: a brief overview. In L. Wilkerson, & W. H. Gijssels (Eds.), *New directions for teaching and learning*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Barrows, H. S., & Tamblyn, R. (1980). *Problem-Based Learning: an approach to medical education*. New York: Springer.

Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silverstein, J. (1987). Students visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117-120.

Bertelle, A., Rochal, A. & Domínguez, J. M. (2014). Análisis de las discusiones de los estudiantes en una clase de laboratorio sobre el equilibrio químico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(2), 114-134.

Blanco, A., España, E. & Rodríguez, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique*, 70, 9-18.

Bliss, J., Monk, M. & Ogborn, J. (1983). *Qualitative data analysis for educational research. A guide to use of systemic networks*. Londres: Croom Helm.

Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetic of chemical reactions, *Journal. of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.

BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understanding about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689-704.

BouJaoude, S. B. & Barakat, H. (2000). Secondary school students' difficulties with stoichiometry. *School Science Review*, 81(296), 91-97.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: brain, mind, experience, and school*, Washington: National Academy Press, DC. Academy Press. Consultado el 15 de febrero de 2013 en <http://www.nap.edu/books/0309070368/html>.

Bunge, M. (1979). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.

Byers, A. & Fitzgerald M.A. (2002). Networking for leadership, inquiry, and systemic thinking: a new approach to inquiry-based learning. *Journal of Science Education and Technology*, 1 (11), 94-128.

Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización. *Alambique*, 69, 21-34.

Cacciatore, K. L. & Sevia H. (2006). Teaching lab report writing through inquiry: A green chemistry stoichiometry experiment for general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(7), 1039-1041.

Cadenas, C.& Huertas, F. J. (2013). Informe PISA en España. Un análisis al detalle. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*.

17(2), 243-262. Consultado el 20 de noviembre de 2014 en <http://www.ugr.es/~recfpro/rev172COL2.pdf>.

Caillot, M. & Dumas-Carre, A. (1987). PROPHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique. En *Résolution de problèmes en mathématique et en physique. Rapports de recherches*, 12, 199-244, Paris: INPR editors.

Campanario, J. M. & Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.

Calleja, T., Collado, S., Macías, G. & San José, C. (2012). *Informe McKinsey: "Educación en España. Motivos para la esperanza"*. Consultado el 12 de junio de 2013 en http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey%20offices/spain/pdfs/educacion_en_espana_motivos_para_la_esperanza.ashx.

Carey, S. (1985). *Conceptual Change*. Cambridge: MIT Press.

Carrascosa, J. & Gil, D. (1985). La metodología de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 113-120.

Chalmers, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Siglo XXI, Madrid.

Chi, M. & Glaser, R. (1986). Capacidad de resolución de problemas. En J. Sternberg, *Las capacidades humanas: un enfoque desde el procesamiento de la información*, 293-324. Barcelona: Labor.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & Leeuw, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.

CECM (2002). Decreto 47/2002 de 21 de marzo . BOCM 77 de 2 de abril de 2002, por el que se establece el currículo de Bachillerato para la Comunidad de Madrid. 5-62. Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid. http://www.bocm.es/boletin/CM_Boletin_BOCM/20020402_B/07700.PDF.

CECM (2008). Decreto 68/2008 de 19 de junio. BOCM 152 de 27 de junio de 2008 por el que se establece el currículo de Bachillerato para la Comunidad de Madrid. 6-84. Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid. http://www.bocm.es/boletin/CM_Boletin_BOCM/20020402_B/07700.PDF.

Claxton, G. (1991). *Educación mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.

Cohen, I. & Ben-zvi, R. (1992). Improving student achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, 14(2), 147-156.

Colás, M.P. & Buendía, L. (1998). *Investigación educativa*. Sevilla: Ediciones Alfar.

Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope. ProQuest*, 23 (6) 42-44.

Colliver, J.A. (2000). Effectiveness of problem-based learning curricula: research and theory. *Academic Medicine*. 75(3), 259-266. Consultado el 3 marzo 2014 en http://journals.lww.com/academicmedicine/Abstract/2000/03000/Effectiveness_of_Problem_based_Learning_Curricula_.17.aspx.

Cooper, M., Cox, C., Nammoux, M., Case, E. & Stevens , R. (2008). An assessment of the effect of collaborative groups on students' problem-solving strategies and abilities. *Journal of Chemical Education*, 85(6), 866-872.

Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation. Design and analysis. Issues for field settings*. Chicago: Rand McNally.

Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. En N. Lederman & S. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education. Vol II*. New York: Routledge.Taylor & Francis, p. 515.

Dabbagh, N, & Williams Blijd, C. (2010). Students' perceptions of their learning experiences in an authentic instructional desing context. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 4(1), 6-29. Consultado el 10 de septiembre de 2014 <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1092>.

diSessa, A. & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20, 1155-1191

Dochy, F., Segers, M. Van den Bossche, P. & Gijbels D. (2003). Effects of problem-based learning: A meta-analysis. *Learning and Instruction* 13, 533-68.

Dopazo, A. (2004). *Diseño de situaciones problemáticas abiertas para el desarrollo de la unidad didáctica «La luz», en sexto de primaria*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Diploma de Estudios Avanzados.

Dory, Y. & Tal, R. (2000). Formal and informal collaborative projects: enganging in industry with environmental awareness. *Science Education*, 84(1), 95-113.

Donmoyer, R. (1996). This issue: a focus on learning. *Educational Research*, 25(4), 4.

Driver, R. (1989). Más allá de las apariencias: la conservación de la materia en las transformaciones físicas y químicas. En R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata. Original, (1985). *Children's ideas in Science*. Buckingham: Open University Press.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.

Driver, R.; Gesne, E. & Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in Science*. Buckingham: Open University Press. En español: (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata.

Durán García, M. E. & Durán Aponte, E. (2013). La termodinámica en los estudiantes de tecnología: una experiencia de aprendizaje cooperativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 45-59.

Duch, B., Gron, S. & Allen, D (2001). *Power of Problem-Based Learning, a practical 'How to' for teaching undergraduate courses in any discipline*. LLC: Stylus Publishing.

Duschl, R. A., & Hamilton, R. J. (1998). Conceptual change in science and in the learning of science. En B. J. Fraser, & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*, 1047–1065.

Edelson, D., C., Gordin D., N. & Pea R., D. (1999). Addressing the challenges of Inquiry-Based Learning through technology and curriculum design. *The Journal of the Learning Sciences*, 8(3y4), 391-450.

Eurydice (2012). *Developing key competences at school in Europe: challenges and opportunities for policy 2011/2012*. Bruselas: Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. Consultado el 15 de febrero de 2013 en http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/145EN.pdf.

Fernández Díaz, M.J., García, J.M., Asensio, I.I. & Fuentes, A. (1990). *Resolución de problemas de estadística aplicada a las Ciencias Sociales (Guía práctica para profesores y alumnos)*. Madrid: Síntesis.

Fox, D. (1987). *El proceso de investigación en educación*. Navarra: Universidad de Pamplona.

FP7. Seventh Framework Program of the European Union http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html.

Flavell, J. H. (1976). *Metacognitive aspects of problem solving in the nature of intelligence*. En L. B. Resnick (ed.), Nueva York: Hillsdale.

Furió, C.; Iturbe, J. & Reyes, J.V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, 89-99.

Gaigher, E., Lederman, N. & Lederman, J. (2014). Knowledge about Inquiry: A study in South African high schools. *International Journal of Science Education*, 36(18), 3125–3147, <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2014.954156>.

Gago, J. M., Ziman, J., Caro, P., Constantinou, C., Davies, G., Parchmann, I Rannikmäe, M. & Sjøberg, S. (2004), *Europe needs more scientists*. European Commission Report by the High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe. p.187 191 Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Consultado el 10 junio de 2013 en http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf.

Galindo, A., Savirón, J. M., Moreno, A., J. M. Pastor & Benedi, A. (2000). *Física y Química 1º Bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.

Gallastegui, J. R.; & Lorenzo, F. M. (1993). “El café tiene cafeína y nos despierta, nos da energía”: concepciones sobre la energía química, una buena razón para poner de acuerdo a los profesores de física y química y ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 20-25.

García-Carmona, A. (2009). Aprendiendo hidrostática mediante actividades de investigación orientada. Análisis de una experiencia con alumnos de 15-16 años. *Enseñanza de las ciencias*, 27(2), 273–286

Garford, F.M., Johnstone, A. H. & Lazonby, J. N. (1976a). Ionic equations at examination at 16+. *Education in Chemistry*, 13, 41-42.

Garford, F.M., Johnstone, A. H. & Lazonby, J. N. (1976b). Ionic equations. Difficulties in understanding and use. *Education in Chemistry*, 13(3), 72-75.

Garnett, P. J., Garnett, P. J. & Hackling, H. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.

Garret, R.M. (1986). Problem-solving and creativity in Science Education. *Studies in Science Education*, 13, 70-95.

Garret, R. M. (1987). Issues in science education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9(2), 125-137.

Garret, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el curriculum de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 224-230.

Garritz, A. (2012). Proyectos educativos recientes basados en la indagación de la química. *Educación química*, 23(4), 458-464.

Gil, D. & Carrascosa, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.

Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. & Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE, Universidad Autónoma de Barcelona.

Gil, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.

Gil, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1984). *Problem-solving in physics: an critical analysis*. *Research on Physics Education*. París: CNRS.

Gil, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1986). La resolución de problemas como instrumento de cambio metodológico. *Educación Abierta*, 66, 31-59.

Gil, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas de Física: Una didáctica alternativa*. Madrid: MEC/Vicens Vives.

Gyllenpalm, J., Wickman P.& Holmgren S. (2010). Secondary science teachers' selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches. *Nordina*, 6(1), 44-60

Gómez, M. A., Pozo, J. I. & Sanz, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: effects on expertise and context variables. *Science Education*, 79(1), 77-93.

González López-Valcárcel, B. (1991). *Análisis multivariante y aplicación al ámbito sanitario*. Madrid: SG Editores.

Gormally, C, Brickman, P., Hallar, B. & Armstrong, N. (2009). Effects of Inquiry-based Learning on Students' Science Literacy Skills and Confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2), artículo 16. consultado el 10 de septiembre de 2014 en <http://digitalcommons.georgiasouthern.edu/ij-sotl/vol3/iss2/16>.

Haidar, A. H. (1997). Prospective Chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 181-197.

Haury, D.L. (1993). *Teaching Science through Inquiry*. ERIC: Clearinghouse for Science Mathematics and Environmental Education Columbus OH. Consultado el 20 de junio de 2014 en <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED359048.pdf>

Hernández, F. (2006). El informe PISA: una oportunidad para replantear el sentido de aprender en secundaria. *Revista de Educación*, extraordinario 2006, 357-379.

Hesse, J. J. & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.

- Hierrezuelo, J. & Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia-MEC.
- Hmelo-Silver, C. E., (2004). Problem-Based Learning: What and how do students learn?. *Educational Psychology Review*, 3(16), 235-266.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hogan K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 341-368.
- Holding, B. (1985). *Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in Chemistry: Summary report*. CLISP. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Leeds: The University of Leeds.
- Hung W., Jonassen , D. H. & Liu, R. (2008). *Problem- Based learning en*, Spector, J.M., Merrill, M.D., Merriënderboer, J. V., Driscoll, M. P. (Eds), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. 485-506. New York: LEA Taylor & Francis.
- Hursthouse, A.S., Patrick,G.L., Rendall, H.M., Roach, A.C. & Vaughan, D.H.(1995). *Swiching on chemistry*. *Education in Chemistry*, (5), 79-81.
- Ibañez, M. T. (2003). *Aplicación de una metodología de resolución de problemas como una investigación para el desarrollo de un enfoque ciencia-tecnología-sociedad (CTS) en el currículo de biología de Educación Secundaria*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense.
- Ibáñez Orcajo, M. T & Martínez-Aznar, M. M. (2005a). Solving problems in genetics (II): Conceptual change. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495-1519.

Ibáñez Orcajo, M. T. & Martínez-Aznar, M. M. (2005b). *Las actitudes relacionadas con la ciencia y la resolución de situaciones problemáticas en genética*. XXI Encuentros sobre Didáctica de las Ciencias Experimentales. San Sebastián.

Ibáñez Orcajo, M. T. & Martínez-Aznar, M. M. (2007). Solving problems in genetics (III): Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747-769.

Ibáñez, M. T. & Martínez-Aznar, M. M. (2005). Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27, 1-26.

Ireland, J., Watters, J., Brownlee, J. L. & Lupton, M. (2014). Approaches to Inquiry Teaching: Elementary teacher's perspectives *International Journal of Science Education*, 36(10), 1733–1750, <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.877618>.

INEE (2013a). *PISA 2012. Programa para la evaluación internacional de los alumnos. Informe español. Volumen I: Resultados y contexto*. Madrid: MECD.

INEE (2013b). *PISA 2012. Programa para la evaluación internacional de los alumnos. Informe español. Volumen II: Análisis secundario*. Madrid: MECD.

INEE (2014). Los resultados españoles en la resolución de problemas de la prueba PISA 2012. Boletín de educación Educainee, 31, <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/boletines/educainee-31cba-3-3.pdf?documentId=0901e72b8190c336>

Irwin, A. (1997). Burning: a constructive not a destructive process. *School Science Review*, 78,(285).

Jocz, J. A., Zhai, J. & Tan, A. L. (2014). Inquiry Learning in the Singaporean Context: Factors affecting student interest in school science. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2596-2618, DOI: 10.1080/09500693.2014.908327 <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2014.908327>.

Jones, B. D., Epler, C. M., Mokri, P., Bryant, L. H., & Paretti, M. C. (2013). The Effects of a Collaborative Problem-based Learning Experience on Students' Motivation in Engineering Capstone Courses. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 7(2). En <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1344>.

Jones, M. T. & Eick, C. J. (2007). Providing Bottom-Up Support to Middle School Science Teachers' Reform Efforts in Using Inquiry-Based Kits. *Journal of Science Teacher Education*. 18,913–934. DOI 10.1007/s10972-007-9069-0

Johnson, D. W. & Johnson, R.T (2008). *Cooperation and use of technology*. En Spector, J.M., Merrill M.D., Van Merriënboer J., Driscoll M.P. (Eds). *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, 401-4023. New York: Routledge.

Jorba, J. & Sanmartí, N. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de evaluación continua. Propuesta didáctica para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Madrid: MEC.

Kardash, C. & Wallace, M. (2001). The perceptions of science classes survey: What undergraduate science reform efforts really need to address. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 199–210.

Kempa R.F., & Ayob A. (1995). Learning from group work in science. *International Journal of Science Education*, 17(6), 743-754.

Keys, C. W. & Bryan, L. A. (2001). Co-Constructing Inquiry-Based Science with Teachers: Essential Research for Lasting Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.

Kyle, W. (1984). Curriculum development of the 1960s. In D. Holdzkom and P. Lutz (eds), *Research within Research*, Charleston: Appalachia Educational Laboratories.

Kim, M., Tan, A.L., & Talaue, F. T. (2013). New vision and challenges in inquiry-based curriculum change in Singapore. *International Journal of Science Education*, 35, 289-311.

Kirschner, P.A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2004). Why Unguided Learning Does Not Work: An Analysis of the Failure of Discovery Learning, Problem-Based Learning, Experiential Learning and Inquiry-Based. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.

Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 9, 178–181.

Lakatos, I. (1974). Falsación y la metodología de los programas de investigación. Científica. En: Lakatos & Musgrave, *La crítica y el desarrollo del conocimiento científico*. Barcelona: Grijalbo.

Lakatos, I. (1982). Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones racionales. Madrid: Técno.

Larkin, J. H. & Rainard, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(3), 235-254.

Lawson, A. E. (2000) Managing the Inquiry Classroom: Problems & Solutions. *The American Biology Teacher*, 62(9), 641-648

Lawson, A. E. (2000). Managing the inquiry classroom; problems and solutions. *The American biology teacher*, 62(9), 641-648. http://www.nabt.org/websites/institution/File/pdfs/american_biology_teacher/2000/062-09-0641.pdf

Letina, A. & Dikovic, M. (2012). *Problem-Based Teaching vs. Programmed Teaching: Challenges for the Future of Education*. International Conference "the future of Education" 2ª Edición. Consultado el 12 de abril de 2014 en http://conference.pixel-online.net/edu_future2012/common/download/Paper_pdf/193-SE114-FP-Letina-FOE2012.pdf.

Levy, T.; Mamlok-Naaman, R. & Holfstein, A. (2008). A new “bottom-up” framework for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education*, 85(12), 1681-1685.

Linn, M.C., Bell, P., & Davis, E. A. (2004). *Internet environments for science education*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Lupión, T. & Prieto, T. (2007). El desarrollo de competencias para la educación ciudadana mediante el tema de la contaminación. *Alambique*, 54, 7-15.

Marín, N.; Solano, I. & Jiménez, E. (1999). Tirando del hilo de la madeja constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 479-492.

Marshall, J. C. & Smart, J. B. (2013) Teachers' Transformation to Inquiry-Based Instructional Practice. *Creative Education*, 4,(2), 132-142. <http://www.scirp.org/journal/ce>. DOI:10.4236/ce.2013.42019

Martínez-Aznar, M. M. (1990). Perspectivas sobre tipos y resolución de problemas. *Actas de las VII Jornadas de estudio sobre la Investigación en la Escuela*, Sevilla, 38-44.

Martínez-Aznar, M. M. (2006). *La energía una “idea” que nos envuelve y que podemos investigar resolviendo situaciones problemáticas*. En Descubrir, Investigar, Experimentar: Iniciación a las Ciencias. MEC.

Martínez-Aznar, M. M. & Bárcena Martín, A. I. (2013). Una actividad de indagación en un aula de diversificación: ¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión». *Educació Química*, 14, 19-28. En <http://scq.iec.cat/scq/index.html>

Martínez-Aznar, M. M. & Ibáñez, M. T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), p.101-121.

Martínez-Aznar, M. M. & Ibáñez Orcajo, M. T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 193-206.

Martínez-Aznar, M. M. & Ovejero Morcillo, P. (1997). Resolver el problema abierto: “Teñir lanas a partir de productos colorantes naturales”. Una actividad investigativa para la enseñanza obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 401-422.

Martínez-Aznar, M. M. & Varela Nieto, M^a P. (1996). De la resolución de problemas al cambio conceptual. *Investigación en la Escuela*, 28, 69-78.

Martínez-Aznar, M. M. & Varela Nieto, M^a P. (1997). *Influencia de las Diferencias individuales en la resolución de problemas abiertos de Física*. En J.A. Beltrán et al. Eds.: *Nuevas perspectivas en la intervención psicopedagógica: I. Aspectos cognitivos, motivacionales y contextuales*. Madrid: Servicio de Publicaciones de la U.C.M.

Martínez-Aznar, M. M. & Varela Nieto, M. P. (2002). *Utilización de la metodología investigativa e resolución de problemas en la formación inicial de maestros*. Aplicación al estudio de la energía. XX Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Laguna.

Martínez-Aznar, M^a M., Varela Nieto, M^a P., Barcena Martín, A. I. & Ibáñez Orcajo, M. T. (2001). *Herencia, Biomasa y Energía. Tres campos para investigar resolviendo problemas*. Simposio. VI Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Barcelona.

Martínez Aznar, M. M. & Varela, M. P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3): 343-360.

Martínez-Aznar, M. M., Varela, M. P. Ibáñez, M. T. & Bárcena, A. I. (2001). *Estudio de la influencia en el aprendizaje de los alumnos de educación secundaria de una metodología de investigación para la resolución de problemas aplicados para la enseñanza de la Química y la Biología*. Memoria final CIDE.

Matthews, M. R. (1994). Vino viejo en botellas nuevas: Un problema con la epistemología constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 79-88.

Martínez-Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.

Matthews, M. R. (1997). Introductory comments on Philosophy and constructivism in Science education. *Science & Education*, 6, 5-14.

Matus, L., Benarroch A. & Perales, F.J. (2008). Las imágenes sobre el enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 153-176.

Mayer, R. E. (1986). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Barcelona: Paidós.

ME (2011). Orden EDU/1427/2011, de 20 de mayo, por la que se crean las ayudas económicas para los proyectos que profundicen en la consolidación de las competencias básicas como elemento esencial de currículo, se establecen las bases para su concesión y se convocan las correspondientes al año 2011. BOE 129, 53.700-53.711. Madrid: Gobierno de España. <http://www.boe.es/boe/dias/2011/05/31/pdfs/BOE-A-2011-9494.pdf>

MEC (1991). Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. Madrid: Gobierno de España. <http://www.boe.es/boe/dias/1991/09/13/pdfs/C00039-00094.pdf>

MEC (1992). Real Decreto 1179/1992. Anexo: Enseñanzas mínimas de Bachillerato. Madrid: Gobierno de España. En <http://www.boe.es/boe/dias/1992/10/21/pdfs/C00003-00062.pdf>.

MEC (2007). Real decreto 1631/2000. Enseñanzas mínimas correspondientes a la enseñanza secundaria obligatoria. BOE 5, 677-773. Madrid: Gobierno de

España. En <https://www.boe.es/boe/dias/2007/01/05/pdfs/A00677-00773.pdf>.

MECD (2012). PIRLS-TIMSS 2011 Estudio Internacional de progreso en comprensión lectora, matemáticas y ciencias. Madrid: Gobierno de España. Consultado el 30 de noviembre de 2013 en <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pirlstimss2011voll.pdf?documentId=0901e72b8146f0ca>.

Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. (1985). Pupil' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.

Mettes, W., Pilot, A., Roossink, H. J. & Kramers-Pals, H. (1980). Teaching and Learning Problem solving in Science. Part. I. A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57(12), 882-885.

Millar, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11(5), 587-596.

Milne, R. W. (1999). A low-cost activity for particle conceptualization at the secondary level. *Journal of Chemical Education*, 76(1), 50-51.

Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction. What is it and does it matter?. Results from a research synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496

Niaz M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems: a dialectic-constructivist perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 959-970.

NRC, National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press, 1996. <http://www.csun.edu/science/ref/curriculum/reforms/nse/nse-complete.pdf>.

NRC, National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: The National Academies Press, 2000 en http://books.google.es/books?id=osAv7y-NNSAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbv_ViewAPI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

NRC, National Research Council (2002). *Scientific Research in Education*. Washington, DC: The National Academies Press, 2002. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10236

NRC, National Research Council (2014). National Research Council. *Harvesting the Fruits of Inquiry: How Materials Discoveries Improve Our Lives*. Washington, DC: The National Academies Press, 2014. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=18734&page=R1.

OCDE (2002). Definition and Selection of Competentes (DeSeCo): Theoretical and conceptual foundations. http://www.portal-sata-admin.ch/deseco/deseco_strategy_paper_final.pdf.

OCDE (2006). Evolution of student interest in Science and Technology studies. Consultado el 8 de marzo de 2013 en <http://www.oecd.org/dataoecd/16/30/36645825.pdf>.

OCDE (2007). PISA 2006. Programa para la Evaluación Internacional de alumnos de la OCDE. Informe Español. Madrid: MEC/IE.

OCDE (2013a). Panorama de la educación 2013. España. Consultado el 14 de marzo de 2014 en http://www.oecd.org/edu/Spain_EAG2013%20Country%20Note%20%28ESP%29.pdf.

OCDE (2013b). *¿Qué piensan los estudiantes sobre la escuela? PISA in focus*, 24, 1-4.

OCDE (2014). *Política educativa en perspectiva. Education Policy outlook. España*. Consultado el 30 de Julio de 2014 en

<http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/epo2014/espprofilefinalestraduccin-11-abril-rev-inee.pdf?documentId=0901e72b8192f29d>.

Odegaard, M., Haug, B., Mork, S. & Sørvik, G. O. (2014). Challenges and support when teaching Science through an integrated inquiry and literacy Approach, *International Journal of Science Education*, 36 (18), 2997-3020, DOI:10.1080/09500693.2014.942719. Consultado el 2 de diciembre de 2014 en <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2014.942719>

Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.

Oliver-Hoyo, M., Allen, D., Hunt, W.F., Hutson, J. & Pitts, A. (2004). Effects of an active learning environment: Teaching innovations at a research institution. *Journal of Chemical Education*, 81(3), 441-48.

Olmsted, J. (1999). Amount tables as a diagnostic tool for flawed stoichiometric reasoning. *Journal of Chemical Education*, 76(1), 52-53.

Osborne, R. & Freyberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias. Influencia de las "ideas pervias" de los alumnos*. Madrid: Narcea.

Oshima, J., Murayama, I., Takenaka, M. & Yamaguchi, E. (2004). Design experiments in Japanese elementary science education with computer support for collaborative learning: hypothesis testing and collaborative construction. *International Journal of Science Education*, 26(10), 1199-1221.

Parchmann, I. (2011). La enseñanza de la Química y el año internacional de la química. *Alambique*, 69, 8-20.

Parra, J.M. (2009). *Un modelo didáctico para la enseñanza de las ciencias sociales*. Madrid: Grupo Editorial Universitario.

Parkinson J. (2008). Spring into group action. *Education in Chemistry*, 45(1), 29.

Pascual-Trillo, J.A., Esteban, G., Martínez, R., Molina, J & Ramírez, R. (2000). La integración de la educación ambiental en la ESO: datos par la reflexión. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 227-234.

Pease, M. A. & Kuhn, D. (2011). Experimental Analysis of the effective components of Problem-Based Learning. *Science Education*, 95, 57–86.

Perales, F. J. (2000). *Resolución de problemas*. Madrid: Editorial Síntesis.

Pérez-Landazábal, M. C. Favieres, A.; Manrique, M. & Varela, P. (1995). La energía como núcleo en el diseño curricular de física. *Enseñanza de las ciencias*, 1995, 13 (1), 55-65.
<http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v13n1p55.pdf>.

Pérez-Landazábal, M. C. & Varela, M. P. (2013). El programa PISA de evaluación en ciencias ¿ Qué ocurre con la Física? *Revista Española de Física*, 27(1), 6-11.

Perret-Clermont, A. N. (1981). *La construcción de la inteligencia en la interacción social*. Madrid: Visor.

PRIMAS. Proyecto PRIMAS. Consultado el 30 de septiembre de 2012 en <http://www.primas-project.eu>

PRIMAS 2013. *The Final publication of PRIMAS*. Consultado el 14 de Junio de 2013 en <http://www.primas-project.eu/es/index.do>

Prince, M. (2004). Does active learning works? a review of research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231.

Prince, M. & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 13-138.

Prince, M. & Felder & R. M. (2007). The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14-20.

POGIL. Proyecto POGIL: Process-Oriented Guided Inquiry Learning. En <https://pogil.org>.

Popper, K. R. (1967). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.

Popper, K. R. (1974). *Conocimiento objetivo*. Madrid: Tecnos.

Polya, R. (1945). *How to solve it. A new aspect of mathematical method*. Princenton University Press. (Trad. cast.: *Cómo plantear y resolver problemas* (1972). Méjico: Trillas).

Porlán, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Diada.

Posner, G.; Strike, K. A.; Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 6(2), 211-227.

Pozo, J. I. & Gómez, M. A. (2001). *Aprender y enseñar ciencia*. Tercera edición Madrid: Morata.

Pozo, J. I., Gómez, M. A., Limón, M. & Sanz, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: CIDE/MEC.

Prince, M. & Felder, R. (2007) The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36 (5), 14-20

PROFILES, <http://www.profiles-project.eu/>.

Puente Azcutia, J. (2008), PISA 2006: resultados españoles en ciencias. *Alambique*, 57, 12-22.

Ramírez, J.L. (1990). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación en la Enseñanza Media: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.

Ramírez, J. L., Gil, D. & Martínez, J. (1994), *La enseñanza de problemas de física y química como investigación*. Madrid: MEC- DIN Impresores.

Raviolo, A. (2005). *Enseñanza y aprendizaje de modelos sobre el equilibrio químico. Una propuesta didáctica con alumnos universitarios españoles y argentinos*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense.

Reif, F. & Larkin, J. (1991). Cognition in scientific everyday domains: comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), pp. 733-760.

Reyes, J.V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco.

Rivard, L. P. & Straw (2000). The Effect of Talk and Writing on Learning Science: An Exploratory Study. *Science Education*, 84, 566-593.

Robinson, W. R. (1999). A view of the science education research literature: student understanding of chemical change. *Journal of Chemical Education*, 76(3), 297-298.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Heriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Informe Rocard. Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels: Comisión Europea.

Rodríguez, V & Díaz-Higson, S (2012). Concepciones alternativas sobre los conceptos de energía, calor y temperatura de los docentes en formación del instituto pedagógico en Santiago, Panamá. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, 12, (3), 1-26.

Roehrig, G. H. & Luft, J. A. (2004). Inquiry Teaching in High School Chemistry Classrooms: The Role of Knowledge and Beliefs, *Journal of Chemical Education*, 81(10), 1510-1516.

Romero-Álvarez, J. G., Rodríguez-Castillo, A. & Gómez-Pérez, J. (2008). Evaluación de escenarios para el aprendizaje basado en problemas (ABP) en la asignatura de química de bachillerato. *Educación química*. 19(3), 196-200
Consultado el 20 noviembre de 2014 en <http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/25830/24326>.

Ross, K. (1991). Burning: a constructive not a destructive process. *School Science Review*, 72,(251).

Rutherford, F. J. (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 80-84.

Sandoval, W. A. (2004). Developing learning theory by refining conjectures embodied in educational designs. *Educational Psychologist*, 39(4), 213-223.

Schmidt, H. (1990). Secondary school students' strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, 16,(4), 457-471.

Schmidt, H. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, 16,(2), 191-200.

Schmidt, H. (1997). Students' misconceptions. Looking for a pattern. *Science Education*, 81(2), 123-136.

Silveratnam, M & Frazer, M. J. (1982). *Problem solving in Chemistry*. Heineman. Londres.

Seymour, E. & Hewitt N. (1997). Talking about leaving: Why undergraduates leave science. Boulder, CO: Westview. en Prince & Felder, (2007) Prince, M. & Felder, R. (2007) The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14-20.

- Simon, H. A. (1978). La teoría del procesamiento de la información sobre la solución de problemas. En *Lecturas de Psicología del pensamiento*, Carretero, M. & Garcia Madruga, A., 197-220. Madrid: Alianza.
- Smith, D. (1996). *A meta-analysis of student outcomes attributable to the teaching of science as inquiry as compared to traditional methodology*. PhD diss., Temple University.
- Soloway, E., Guzdial, M., & Hay, K. E. (1994). Learner-centered design: The challenge for HCI in the 21st century. *Interactions*, 1, 36-47.
- Solsona, N., Izquierdo, M. & Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25(1), 3-12.
- Staver, J. R. & Lumpe, A. T. (1995). Two investigation of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 177-193.
- Stavy, R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), 501-512.
- Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4) 305-313.
- Stavy, R. (1988). Children's conceptions of gases. *International Journal of Science Education*, 10, 553-560.
- Sundberg, M. D., & Moncada, G. J. (1994). Creating Effective Investigative Laboratories for Undergraduates. *Bioscience*, 44(10), 698-704.
- Talanquer, V. (2011). El papel de las ideas previas en el aprendizaje de la química. *Alambique*, 69, 35-41

Tan, K.D. & Treagust, D.F. (1999). Evaluating student understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.

TIMMS (2011). International Association for the Evaluation of Educational Achievement (2012). PIRLS-TIMSS 2011. International Study on Progress in reading Comprehension, Mathematics and Sciences IEA. Volumen II. Spanish Report. Secondary Analysis. Madrid: Instituto Nacional de Evaluación Educativa. Ministerio de Educación. Consultado el 30 de Abril de 2014 en <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/internacional/pirlstimss2011eng.pdf?documentId=0901e72b815327f1>.

Turns, J., Cuddihy, E., & Guan, Z. (2010). I thought this was going to be a waste of time: How portfolio construction can support student learning from project-based experiences. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 4(2), 63-93. Consultado el 30 de mayo del 2014 en: <http://dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1125>.

Trumper, R. (1993). Childrens' energy concepts: a cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), 139-148.

Tullberg, A.; Strömdahl, H. & Lybeck, L. (1994). Students' conceptions of 1 mol and educators' conceptions of how they teach the mole. *International Journal of Science Education*, 16, 145-156.

Valcarcel Siso J.L., (2013). "Un nuevo concepto de la educación" Diario de la Unión Europea 2013/C 130/10, 17/5/2013, 139-154. Consultado en enero de 2014 en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2013:139:0051:0058:ES:PDF>.

Valcarcel, M. V. & Sanchez, G. (1990). Ideas de los alumnos de diferentes niveles educativos sobre el proceso de disolución. *Investigación en la Escuela*, 11, 51-60.

Varela, M. P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid (editada en C.D.).

- Varela, M. P. & Martínez-Aznar, M. M. (1996). Resolver problemas una actividad cotidiana en las aulas. *Revista del Ilustre Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y Ciencias*, 78, 18-19.
- Varela, M. P. & Martínez Aznar, M. M. (1997). Investigar y aprender resolviendo problemas abiertos de Física. *Revista Española de Física*, 11, 32-37.
- Varela, M. P. & Martínez-Aznar, M. M. (1998). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física: La resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 173-188.
- Vazquez Alonso, A. & Masassero Mas, M. A. (2007). *La relevancia de la educación científica*. Mallorca: Servei de Publicacions i Intercanvi Científic, Universitat de les Illes Balears.
- Verdú, J. (1993). Sobre los errores en el uso del concepto de mol y las magnitudes relacionadas. *Revista Española de Física*, 7(1), 54-56.
- Vilches, A. & Gil, D. (2011). El trabajo cooperativo en las clases de ciencias: una estrategia imprescindible pero aún infrutilizada. *Alambique*, 69, 73-79
- Vos, W. DE & Verdonk, A. H. (1986). A new road to reaction. Part 3. Teaching the heat effect of reactions. *Journal of Chemical Education*, 63(11), 972-974.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2008). *International Handbook of Research on conceptual change*. London & New York: Routledge.
- Watson, J. R., Prieto, T. & Dillon, J. (1997). Consistency of students' explanation about combustion. *Science Education*, 81(4), 425-444.
- Watts, M. (1994). *Problem Solving in Science and Technology: Extending Good Classroom Practice*. London: Fulton Publishers.

Wheeler, L. B., Bell, R. L., Whitworth, B. A. & Maeng, J. L. (2015). The Science ELF: Assessing the enquiry levels framework as a heuristic for professional development, *International Journal of Science Education*, 37(1), 55-81, DOI:10.1080/09500693.2014.961182. En

<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2014.961182>

Wiser, M. & Smith, C. L. (2008). Learning and teaching about matter in grades K-8: when should the atomic-molecular theory be introduced. En Vosniadou, S. (2008). *International Handbook of Research on conceptual change*. London & New York: Routledge. 205-239

Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 449-459.

Zion, M., Michalsky, Y. & Zemira, R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957-983.

ANEXO I

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE REACCIONES QUÍMICAS

ÁMBITO	CATÁLOGO DE IDEAS	AUTORES
Cambios físicos y químicos		
Visión macroscópica y microscópica	<p>Dificultad en el paso de lo macroscópico (nivel fenomenológico) al atómico-molecular (atribuyen a los átomos color o estado físico, aspectos visibles).</p> <ul style="list-style-type: none"> Muy pocos reconocen otros cambios además de los físicos (pocos mencionan cambios en las propiedades químicas como condición de reacciones químicas) No reconocen la naturaleza del estado gaseoso Uso explicaciones basadas en el uso de analogías superficiales con hechos cotidianos Tratan lo macroscópico (sustancia, elemento) como si fuesen objetos de lo microscópico (átomo, molécula)→" las sustancias forman enlaces, las sustancias cambian electrones externos entre ellas,..." Esta confusión se puede deber a llamarse igual la sustancia y el átomo Asignan propiedades macroscópicas a átomos individuales (un átomo de Cu es maleable) 	<p>Hesse & Anderson, 1992</p> <p>Robinson, 1999</p> <p>Ben-Zvi, Eylon, & Silverstein, 1987</p> <p>Hesse & Anderson, 1992</p> <p>Robinson, 1999</p> <p>Robinson, 1999</p> <p>Boo, 1998</p>
Naturaleza de reactivos y productos	<ul style="list-style-type: none"> Durante la explicación cambian las sustancias de la reacción por otros materiales cotidianos (y energía). Las precipitaciones se producen porque el sólido pesa más que el líquido. No entienden la diferencia entre la disolución de la sal y la reacción de los iones en disolución. 	<p>Hesse & Anderson, 1992</p> <p>Barker, 1999</p> <p>Barker, 1999</p>
Conservación de la masa.		
Conservación de la masa	<ul style="list-style-type: none"> Los productos y los reactivos son diferentes: la masa puede ser igual, mayor o menor. La materia se crea o se destruye Tratan los cambios químicos como si fuesen físicos(forma o estado)→conservación de la masa pero explicación incorrecta. Ignoran la naturaleza gaseosa de algunos reactivos y productos. La masa final del sólido es la misma o no se cumple la ley de conservación El aumento de masa en el clavo oxidado raramente lo atribuyen a la combinación con el oxígeno, más bien son cambios físicos Omisión de la masa de oxígeno en el cálculo de combustión. La masa de los gases emitidos por un coche tiene la misma masa que la gasolina quemada Los gases pesan menos porque el combustible se convierte en calor y energía cinética. 	<p>Watson, Prieto & Dillon, 1997</p> <p>Barker, 1999</p> <p>Hesse & Anderson, 1992</p> <p>Driver, 1985</p> <p>Pozo, 1991</p> <p>Pozo, 1991</p> <p>Barker, 1999</p> <p>Donnell & Welford 1988 (en Pozo, 1991)</p> <p>Andersson 1986</p>

Representaciones de las reacciones químicas		
Visualización de las reacciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Visión macroscópica de la ecuación (no representan modelos sino un vaso de líquido, electrodos,...) • Representación microscópica estática: Representan los constituyentes de la ecuación pero sin ninguna indicación de que algo pase durante el proceso • Representación macroscópica estática: representan la reacción como ocurriendo en estados definidos, intentan mostrar movimiento (de iones hacia los electrodos, con flechas de transferencia,...) • No interpretan el aspecto dinámico de la reacción. • Interpretan el aspecto cualitativo y no cuantitativo de la reacción • Algunos visualizan las RQ como un puzzle matemático más que un proceso dinámico de interacción 	Ben-Zvi et al., 1987 Boo ,1998
Representación atómica y molecular	<ul style="list-style-type: none"> • No representan correctamente las moléculas por modelos moleculares. • No reconocen el aspecto interactivo de una reacción química. (romper y formar enlaces) • Concepciones erróneas por simplificar en exceso los mecanismos de reacciones complejas (mejor empezar por sencillas como disociación de gas dimolecular) 	Ben-Zvi et al, 1987 Ben-Zvi et al, 1987 Milne, 1999
Naturaleza de reactivos y productos	<ul style="list-style-type: none"> • Durante la explicación cambian las sustancias de la reacción por otros materiales cotidianos (y energía). • No reconocen las moléculas diatómicas de los elementos gaseosos 	Hesse & Anderson, 1992 Ben-Zvi et al, 1987

Estequiometría		
Interpretación y ajuste de ecuaciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque ajusten bien las ecuaciones suelen no representar bien las ecuaciones a nivel molecular • Representan todos los átomos indicados por los coeficientes en moléculas únicas: $3X_2 = X_6$ • Los subíndices en las fórmulas son n° usados en el ajuste y no representan agrupaciones atómicas. • Los coeficientes estequiométricos son n° usados mecánicamente y no representan los n° relativos de especies que reaccionan o que se producen • Las ecuaciones químicas no representan reacciones químicas a un nivel particular. • Las ecuaciones químicas no representan procesos dinámicos en los que las partículas o moléculas reaccionan con otras para producir nuevas partículas o moléculas por reorganización de los átomos. • Errores al interpretar cambios en las cantidades de las sustancias, el más común: el cambio se produce por igual en todos los reactivos, ignorando los coeficientes estequiométricos (si desaparecen 2 moles de uno, también del resto de los reactivos y se forman la misma cantidad de cada uno de los productos) • Dificultades al interpretar subíndices, coeficientes y cantidad de sustancia necesaria para la reacción. 	<p>Yarroch, 1985 En Garnett, 1995</p> <p>Garnett et al., 1995</p> <p>Olmsted, 1999</p> <p>Schmidt, 1990, 1994, 1997</p>
Reactivo limitante		
Reactivo limitante y exceso	<ul style="list-style-type: none"> • El reactivo en menor n° de moles o gramos es el limitante, sin tener en cuenta los coeficientes estequiométricos • Dificultades con relaciones estequiométricas (n° átomos inicial cada clase= final) y reactivos limitantes 	<p>Olmsted, 1999</p> <p>Milne, 1999</p>

Tipos de reacciones químicas		
Explicación de aparición de sustancias por desplazamiento	<ul style="list-style-type: none"> Una nueva sustancia aparece porque es desplazada) -Desplazamiento de una sustancia de dentro a fuera: El agua caliente forma vapor que forma una capa en la tubería, alguna sustancia ha penetrado la tubería caliente, hay mucha cal en el agua y puede verse en las tuberías,.... Desplazamiento de una sustancia desde el aire al interior de la tubería: Hay suciedad que no vemos hasta que está pegado en la tubería caliente, el calor ataca la suciedad, hay aire en las tuberías,... Desplazamiento de óxido desde el aire a la superficie de un clavo (está en el aire todo el tiempo y cuando el clavo está mojado se extiende encima, es como una clase de hongo) 	Andersson, 1986
Ideas sobre redox	<ul style="list-style-type: none"> Oxidación significa que el oxígeno está involucrado La materia se conserva porque es un cambio de la propia sustancia: aspecto, forma... En el agua la oxidación se produce porque el oxígeno del agua se une a la sustancia y se desprende hidrógeno gaseoso. El óxido formado es una mezcla de elementos. Explicación de aparición de sustancias por desplazamiento: Una nueva sustancia aparece porque es desplazada (de dentro a fuera o desde el aire a la sustancia) 	<p>Schmidt, 1997 Hesse & Anderson, 1992</p> <p>Andersson, 1986</p>
Ideas sobre combustión	<ul style="list-style-type: none"> Cambio físico: desaparición, cambio de lugar, cambio de estado, de forma, de tamaño, se liberan sustancias, Se transforma en energía Según el material perciben la realidad de la combustión de distinta forma: Conservación de la masa: No tiene en cuenta el peso de los gases desprendidos. El sólido no pierde peso (es un cambio físico). Pesa menos al volverse más pequeño, quedan cenizas. La materia se transmuta en calor y viceversa Es necesario el oxígeno. Se produce C ó CO_2 Aunque reconocen que es cambio químico utilizan el vocabulario de cambio físico indistintamente.. La combustión elimina el humo o partes de la materia en forma de humo Solo la sustancia que se quema posee energía de enlace pero el oxígeno no. Se desprende agua de la composición de la sustancia La energía esta atrapada en el combustible/comida 	<p>Watson et al. 1997, BouJauode, 1991 Watson et al. 1997 BouJauode, 1991</p> <p>Boujauode, 1991</p> <p>Watson et al. 1997</p> <p>Hesse & Anderson, 1992 Boujauode, 1991</p> <p>Boujauode, 1991</p> <p>Boo, 1998</p> <p>Meheut, Saltiel. & Tiberghien, (1985) Ross (1991)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> El Oxígeno no interviene en el proceso. No hay interacción entre el combustible y el Oxígeno / aire La combustión es endotérmica (necesita cerilla) Fallan al interpretar el origen de la energía desprendida. La llama es señal de reacción química, contiene parte del combustible y del oxígeno, el fuego es un elemento activo de la reacción. 	<p>Watson, Prieto & Dillon, 1997 Boo, 1998 Boo, 1998</p> <p>Watson et al. 1997</p>

Energía de las reacciones químicas		
Energía Química	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en entender conceptos abstractos como calor, energía, temperatura, calor específico, energía de enlace,... • Energía de enlace es la liberada al romper un enlace (puede que la confusión venga de biología- enlaces que contienen E como ATP) • Dificultad en relacionar variables (H, T, Ce,...) 	Cohen., Ben-Zvi.,1992
	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades en entender enlace y energía química por no abandonar la visión continua de la materia. • Una reacción química se produce cuando hay intervención exterior, por ej. calentando (necesita un agente causal externo activo). Cuando hay llama esta es la fuerza conductora de la R. 	Boo ,1998
	<ul style="list-style-type: none"> • Para formar enlaces se necesita aportar energía (por extrapolación de lo macroscópico a lo microscópico) • Para romper enlaces se necesita E (macros.) • Las reacciones endotérmicas no son espontáneas. • En disolución el cambio químico se produce porque las moléculas de agua transfieren E (de no enlace) a los enlaces formados en disolución y la T del agua depende de la cantidad de energía de no enlace transferida. • La molécula de O₂ no contiene energía química, la E de los alimentos proviene sólo de ellos (de romper sus enlaces) • Los enlaces o estructuras que se han formado son más fuertes que las de los que se han roto • El enlace químico es como una entidad física algo que une (por macrosc.) • Dificultades al clasificar reacciones endo y exotérmicas (quemar una vela es endo, se necesita encender y quemar cobre para formar óxido es endo) • Una vez que se produce llama la temperatura de esta permanece cte, no se produce más calor (estado estático) 	Vos & Verdonik. 1986 & Boo.,1998
	<ul style="list-style-type: none"> • Energía= calor: Un trozo de carbón tiene energía porque al quemarlo produce calor • Algo caliente aporta más energía a nuestro organismo que algo frío (café caliente-helado) • Al asociar palabras con E hay muchas referidas a mecánica (fuerza, trabajo, movimiento,...), con Termodinámica(calor, temperatura) y con sol y luz , vitalidad, salud, vigor,..pero escasas referencias a E.Q. solo algunas a carbón, petróleo, o alimentación. No nombran cosas cotidianas como butano, gasolina, glucosa, azúcar, grasa,... • Relacionan la energía con cosas vivas • Solo relacionan E con algo estacionario si se habla de energía almacenada (baterías, central energética, petróleo y carbón) 	<p>Vos & Verdonik 1986</p> <p>Gallastegui & Barral, 1993</p> <p>Trumper,1993</p>

Aspectos relativos a enlace	<ul style="list-style-type: none"> • Confusión entre enlaces iónicos y covalentes (el NaCl es representado como un enlace covalente y pocas veces se reconoce su estructura tridimensional) • Dificultades en entender enlace y energía química por no abandonar la visión continua de la materia. • Una reacción q. es más un proceso de adición o aglutinamiento que de ruptura y formación de enlaces 	Boo,1998
Calor	<ul style="list-style-type: none"> • Confusión del calor, frío, etc. con sustancias • Confusión entre calor y temperatura • Un trozo de carbón tiene energía porque al quemarlo produce calor 	Hesse & Anderson, 1992 Cohen.& Ben-Zvi,1992 Gallastegui, & Barral, 1993
Otros aspectos relacionados		
Velocidad de reacción	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas al entender que la velocidad de reacción directa disminuye al avanzar ésta, que crece la inversa, que al p° ésta es 0, y que son iguales sólo en el equilibrio • Dificultades para entender la dinámica de una reacción química. 	Niaz, 1998 Boo,1998
Mol, masa molar, masa atómica, cantidad de sustancia,	<ul style="list-style-type: none"> • No distinguen masa molar y masa atómica.(pues no distinguen entre nivel de interpretación continuo y discontinuo) • Los conceptos mol y M molar se usan con el mismo significado • Se identifica mol = N_A de partículas(sólo es válido= a la cantidad de sustancia que contiene el N_A de entidades elementales o unidades fórmula). • En gases confunden mol y Vol. Molar • Saben que existe relación entre densidad y masa molar pero no saben cuál. • No interpretan la palabra cantidad(de sustancia), algunos la usan como "N° de moles", volumen, n°, • Error al definir mol en términos de $12C$ • Definir mol como una masa (atómica o molecular) o como el N_A. (un mol "contiene" N_A es correcto, "es" es incorrecto) • Considerar gramos y u.m.a. equivalentes (error derivado de no entender el concepto de mol). • Errores de identidad numérica del mol • Se habla de N° de moles • Ecuaciones igualando dos miembros con distintas dimensiones. 	Tullberg , Strömdahl, & Lyberck, 1994 Verdú, 1993 Verdú, 1993 Verdú, 1993 Tullberg et al. 1994 Tullberg et al. 1994 Staver & Lumpe, 1995 Staver & Lumpe, 1995 Staver & Lumpe, 1995 Staver & Lumpe, 1995 Verdú, 1993 Verdú, 1993

ANEXO II

UNIDAD DIDÁCTICA ***“REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA”***

En este anexo se muestran la base de los materiales de aula que forman parte de la Unidad Didáctica " Reacciones Químicas y Biomasa". La secuencia de problemas abiertos trabajada no tiene una ubicación física en los mismos pues son éstos los que hacen que surja la necesidad de consultar el material de aula. En el siguiente cuadro se muestra una posible ubicación dentro de la unidad para los problemas de la fase II y los exclusivos de la fase I:

PA FII	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE II	Nº en FI	Apartado de la unidad
P₁	<input type="checkbox"/> El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere?	--	5
P₂	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de dióxido de carbono. ¿Cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?	P₄	6
P₃	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?	P₅	6.3
P₄	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel? *	P₆	7.2
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz? *	P₈	7.1
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol?	P₉	7.2
P₇	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas?.	P₁₀	7.2
P₈	<input type="checkbox"/> ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible? *	--	7.2
P₉	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión. ¿Cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?	P₁₁	7.2.2 8
P₁₀ EXA- MEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?	P₁₂	9
	OTROS ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS PARA LA FASE I	PA FI	Apartado de la unidad
	<input type="checkbox"/> ¿Qué molécula "tiene" mayor energía de formación, la glucosa o el oxígeno?	P₁	5
	<input type="checkbox"/> ¿Quién tiene mayor energía de formación, el CO ₂ que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende?	P₂	5
	<input type="checkbox"/> ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua?	P₃	6.2
	<input type="checkbox"/> ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera? *	P₇	6

CUADRO ANEXO II. RELACIÓN DE LOS PROBLEMAS (PA) QUE CONFORMAN LA UNIDAD DIDÁCTICA "REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA" PARA AMBAS FASES CON LA UBICACIÓN DE LOS MATERIALES DE APOYO DISEÑADOS. Los problemas señalados con asterisco corresponden a problemas de diseño experimental

LAS REACCIONES QUÍMICAS Y LA BIOMASA



PRIMERO DE BACHILLERARO

PROFESOR: ANA ISABEL BÁRCENA MARTÍN

ÍNDICE

1.- ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?	5
2.- HISTORIA DE LA ENERGÍA Y LA HUMANIDAD	6
3.- ENERGÍAS RENOVABLES	21
4.- BIOMASA	21
5.- ENERGÍA DE LA BIOMASA	23
6.- ORIGEN DE LA BIOMASA	28
6.1- LA FOTOSÍNTESIS.....	28
6.2- ASPECTOS MATERIALES Y REPRESENTACIÓN DE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE TIENEN LUGAR EN LA FOTOSÍNTESIS.....	31
6.3- RENDIMIENTO MATERIAL Y ENERGÉTICO DE UNA REACCIÓN.....	36
6.3.1. Rendimiento material de la reacción y pureza de reactivos.	
6.3.2-Rendimiento energético del proceso fotosintético: Conservación y degradación de la energía	
7.-TRANSFORMACIONES DE LA BIOMASA PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA	38
7.1: PROCESOS FÍSICOS:.....	38
7.1.1.Preparación	
7.1.2.Extracción	
7.2. PROCESOS QUÍMICOS:.....	38
7.2.1. Procesos termoquímicos.	
A) Combustión	
B) Gasificación	
C) Pirolisis:	
7.2.2.Procesos bioquímicos	
A) Fermentación alcohólica	
B) Digestión anaerobia	
8.-TRANSFORMACION DE LA BIOMASA EN ENERGÍA ELÉCTRICA	49
9.- EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA EN NUESTRA SOCIEDAD	52
9.1. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	
9.2. TIPOS DE CONTAMINANTES.....	
9.3. ALGUNOS EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES.....	
9.4: EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE.....	
9.5: SITUACIÓN AMBIENTAL DE ESPAÑA Y DE TU ENTORNO.....	
.....	
10.- EL INICIO DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA	64
BIBLIOGRAFIA	72

1.- ¿QUÉ ES LA ENERGÍA?

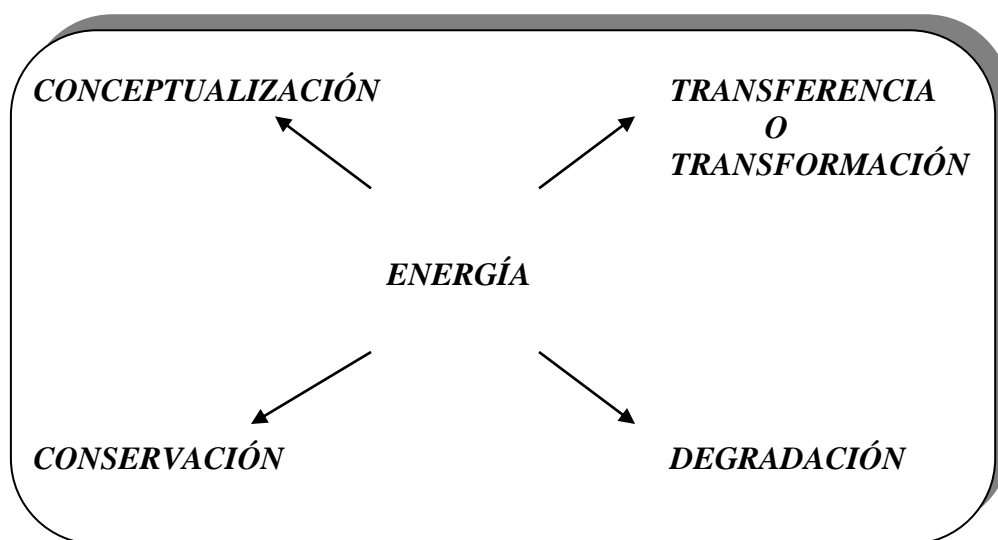
Hace ya algunos años que empezaste a estudiar y conocer distintos tipos de energía: eléctrica, mecánica, solar, eólica, química, térmica, y habrás estudiado alguna de sus características ¿Podemos llegar a alguna que sea común a todas y que nos ayude a identificarlas como “energía”?

Quizá nos quede claro lo que hay de común en todas ellas (y con otras situaciones) si analizamos el concepto de la energía:

“ La ENERGÍA es una magnitud física, característica de los sistemas, en virtud de la cual éstos pueden transformarse, modificando su estado o situación, así como actuar sobre otros sistemas originando en ellos procesos de transformación ”

Varela et al., 1991

A lo largo de la unidad estudiaremos indirectamente aspectos básicos de la energía como son la transferencia y transformación, la conservación y la degradación.



2.- HISTORIA DE LA ENERGÍA Y LA HUMANIDAD.

Desde los comienzos de la humanidad, el hombre ha asegurado su subsistencia utilizando distintos recursos energéticos. Los primeros consistían en la utilización de sus propios músculos para conseguir energía mecánica, luego el fuego como fuente de energía térmica, y más tarde, instrumentos que multiplicaban su fuerza y reducían su esfuerzo, por ejemplo la rueda. También aprendió a sacar partido de la fuerza muscular de los animales, que junto con la rueda les permitió realizar nuevas y sorprendentes tareas.

Desde entonces, el hombre no ha cesado en la búsqueda de formas de aprovechar los recursos de la naturaleza. Así aparecen las primeras norias de agua en la antigua Mesopotamia, se usan en China las corrientes de aire para navegar (hace 4000 años) y más tarde, en Persia, aparecen los primeros molinos de viento (hace 2000 años) que llegarán a Europa en el siglo XI con las cruzadas. Pero no fue hasta principios del siglo XVIII (1705), cuando Savery y Newcomen construyen la primera máquina de vapor que 60 años más tarde perfeccionaría Watt. Se inaugura en cierto modo la revolución industrial.

Este descubrimiento supone un antes y un después en el estudio científico de las fuentes energéticas, que hasta ahora se habían investigado de forma aislada. A partir de este momento queda patente que una energía se puede transformar en otra, surgiendo así una de las leyes básicas de la ciencia: el Principio de Conservación de la Energía "la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma de una a otra de sus manifestaciones".

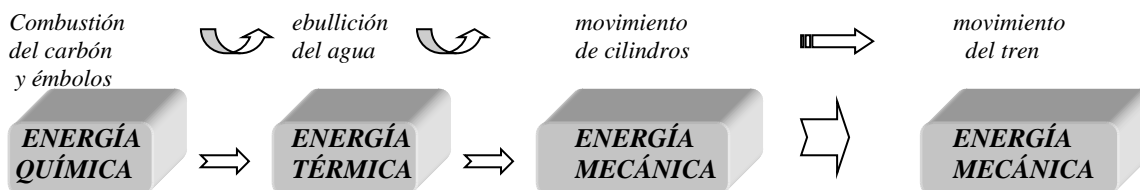


Figura 1: Transformaciones energéticas más importantes en la máquina de vapor

La utilización de la máquina de vapor trajo consigo profundos cambios en industria y el transporte, originando las primeras grandes áreas industriales. Se sustituyen las fuentes de energía tradicionales (la madera) por otras de mayor poder calorífico (el carbón) mejorando así su transporte y su almacenamiento, pero dando lugar a grandes concentraciones de contaminación en los núcleos industriales.

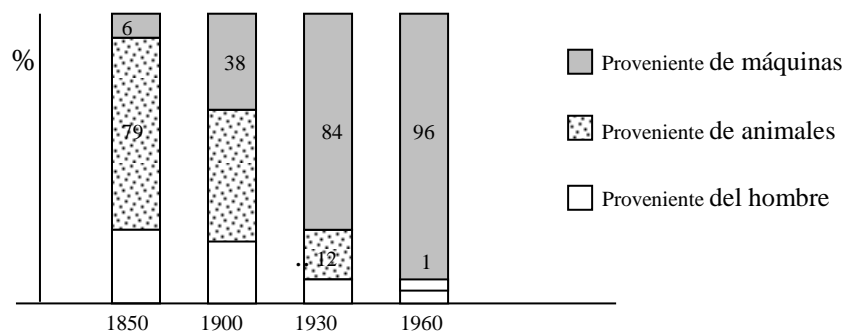


Figura 2: Evolución en el uso de los recursos energéticos tras la aparición de la máquina de vapor (A partir de Entrena et al., 1980)

El estudio de las transformaciones energéticas lleva a los científicos a realizar numerosos estudios que concluyen a principios del siglo XIX con el descubrimiento de una nueva fuente de energía: la electricidad. En 1800 Volta construye la primera pila y en 1812 Faraday descubre las relaciones entre la electricidad, magnetismo y movimiento para más tarde diseñar el primer generador electromagnético. En 1840 Joule descubre la posibilidad de transformar energía eléctrica en calor y en 1879 Edison y Swan inventan la lámpara de incandescencia que transforma la energía eléctrica en luminosa.

Sin embargo el uso hegemónico del carbón como fuente de energía continúa hasta que el 27 de agosto de 1859 se explota el primer pozo de perforación de un aceite conocido desde la antigüedad llamado petróleo (petra oleum = aceite de roca). La fiebre del oro negro junto con la invención en 1860 del motor de explosión da lugar a una nueva era del transporte y la industria apareciendo un nuevo rey energético que en los siguientes años irá sustituyendo progresivamente al carbón.

La mayor parte de la producción de petróleo se encuentra en áreas muy reducidas. Las ganancias descompensadas entre los países que producían petróleo, y los que lo transportaban, refinaban y distribuían, dieron lugar a la unión de los países productores en la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) para asegurar sus ganancias. La dependencia del petróleo en la segunda mitad del siglo XX era tal, que cuando en 1967 se cerró el canal de Suez, ruta clásica de los petroleros desde el Golfo Pérsico hacia Europa Occidental (debido a la llamada Guerra de los 6 días) el precio del crudo subió alarmantemente por el rodeo que debían dar por África. Otros crudos provenientes del Mediterráneo (Ej. de Libia) no tenían razón para la subida pero amenazaron con reducir drásticamente la producción si no se le pagaba lo mismo. A Libia se le une el resto de los países de la OPEP. El monopolio dio resultado y consiguieron acuerdos importantes, pero algo inesperado agrava la situación en 1973, el conflicto árabe-israelí que provoca que los países árabes bloqueen el aprovisionamiento a países que no se manifiesten en contra de Israel (lo que afecta especialmente a Europa Occidental). En pocos meses el precio del barril se triplica produciendo su inevitable efecto en la economía mundial. Esta es la llamada crisis energética del 73.

Desde entonces el precio del barril nos hace temblar varias veces al año y su subida influye no solo en el precio de la gasolina sino en el de muchos productos, lo que da idea de la dependencia actual de esta fuente. Durante el año 2000 sufrimos la llamada segunda crisis del petróleo donde curiosamente se dieron circunstancias parecidas a las del 73: disminución en la producción de petróleo por parte de la OPEP y un encrudecimiento del conflicto árabe-israelí.

La situación actual, con el enfrentamiento entre palestinos e israelíes, parece estar moviendo de nuevo a los países árabes a ejercer su particular amenaza de control de producción energética del petróleo.

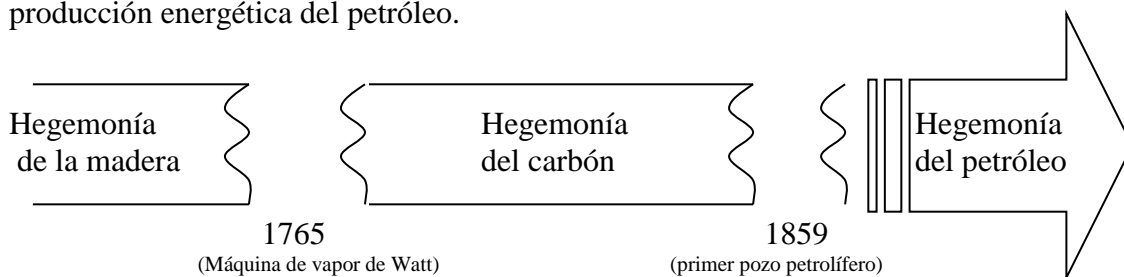


Figura 3: Predominancia del tipo de combustible en la historia

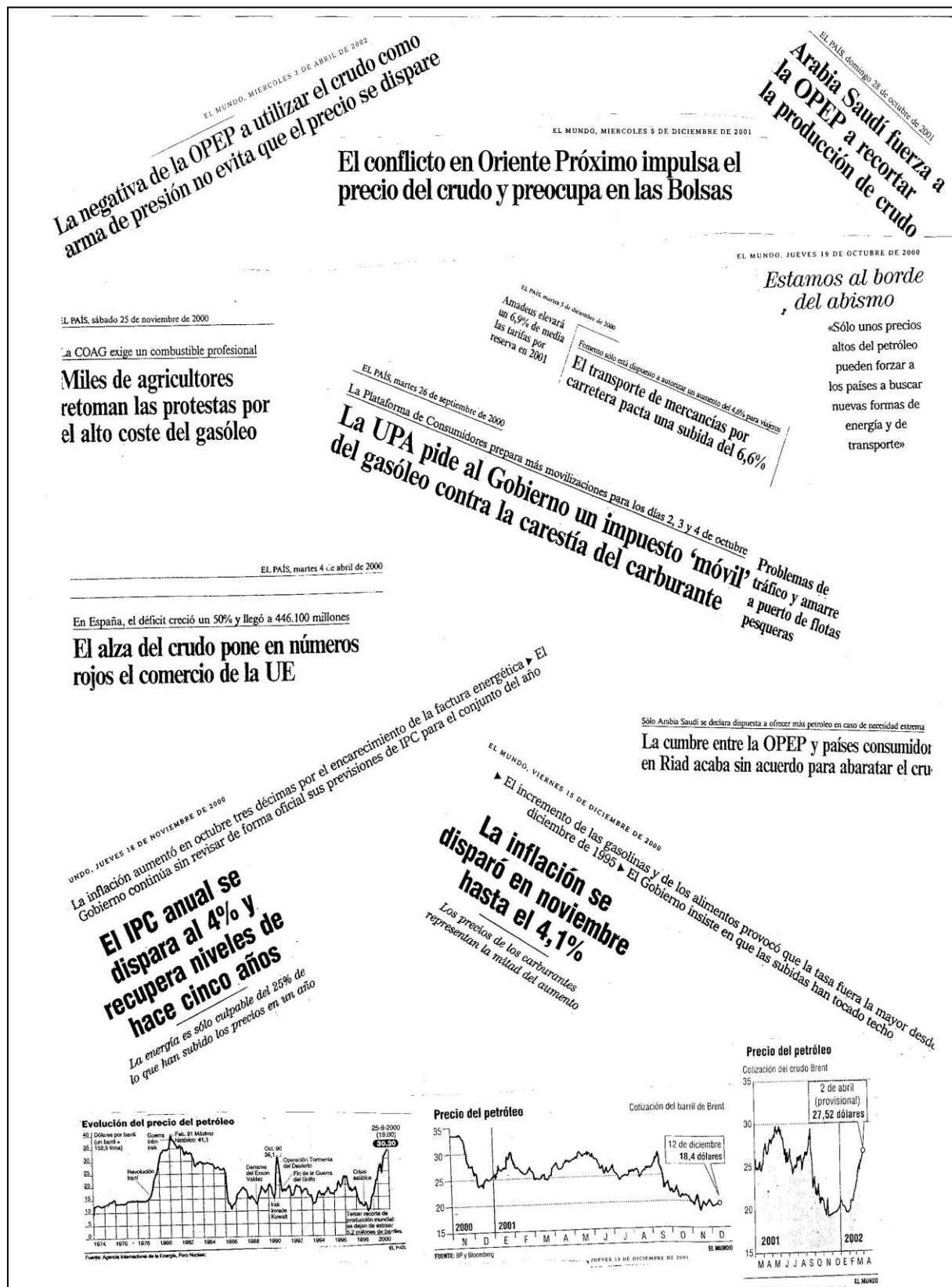
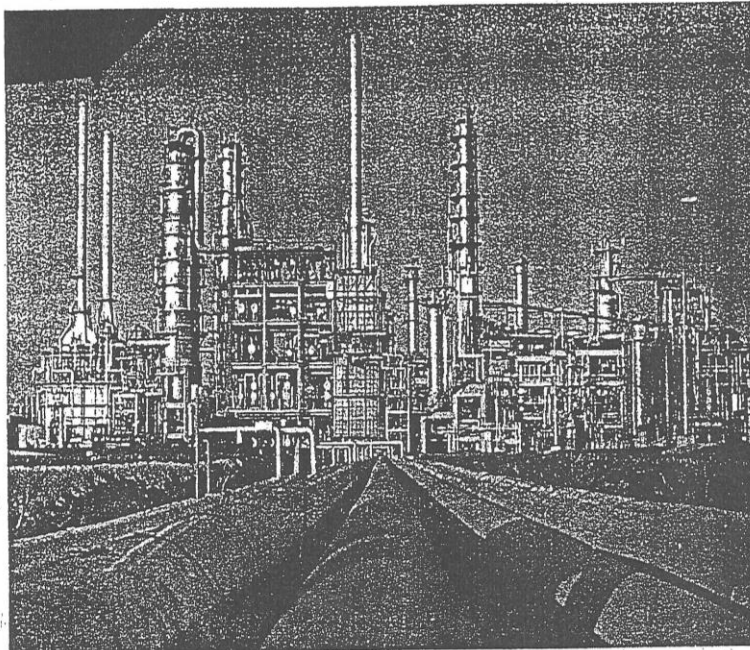


Figura 4: Noticias sobre relacionadas con energía

Parece que es el momento histórico para comenzar a mirar hacia otras fuentes de energía.



Una refinería de petróleo, donde se trata el crudo que se obtiene perforando pozos situados a cientos y hasta miles de metros bajo tierra.

plásticos, aromas artificiales o aditivos para dentífricos)... En resumen, miles de objetos cotidianos. Pero hay otro problema. Además de caro, el petróleo es un recurso natural que necesita largos periodos geológicos para formarse, y que corre el serio riesgo de agotarse. Desde que en 1859 fuera excavado el primer pozo en Pensilvania hasta nuestros días, se han consumido nada menos que 845.000 millones de barriles de oro negro. A ese ritmo, los expertos calculan que las reservas se agotarán en un plazo de entre 40 y 80 años.

El precio
de los barriles
se ha triplicado
en un año y medio
por decisión
de los diez países
que controlan
el negocio

La solución consiste en explorar fuentes de energía alternativas... y mucho más respetuosas con el medio ambiente que el petróleo, responsable de grandes mareas negras y catástrofes ecológicas.

Entre esas fuentes alternativas se cuentan las pilas de combustible o la energía solar. También se está estudiando un nuevo procedimiento para la producción, a partir de gas natural, de hidrógeno, que podría convertirse en el carburante del futuro.

Otra opción son las llamadas arenas petrolíferas. A diferencia del petróleo crudo, que suele estar atrapado en formaciones rocosas porosas que hay que perforar, estas arenas están formadas por betún, arena, agua y arcilla. El procedimiento consiste en aislar el betún y transformarlo en petróleo bruto sintético.

PETROLEO

El "oro negro" es cada vez más caro y escaso

PALOMA CORREDOR

Lo llaman *oro negro* y con razón: el petróleo es la principal fuente de energía de nuestro planeta. Fue descubierto por el mismísimo Marco Polo cuando viajó a Catal (o sea; a la actual China) en 1271. Lo que el legendario viajero definió como "un aceite de piedra que arde con facilidad y está hecho de roña y de otras cosas" está ultimamente causando serios trastornos a las

economías occidentales. Seguro que tú también has oído hablar de la "crisis del petróleo", pero no sabes muy bien lo que significa.

El problema es que el precio de los barriles se ha triplicado en el plazo de un año y medio. Y el motivo es que existe un desajuste entre la oferta y la demanda. Es decir, que se necesita más petróleo del que se produce. Los responsables de esa subida de precios son los diez países que forman la

OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo): Arabia Saudí, Argelia, Gabón, Indonesia, Irak, Irán, Kuwait, Libia, Nigeria, Unión de Emiratos Arabes y Venezuela. En la primavera de 1999 decidieron reducir la producción para aumentar su coste. Actualmente, estos países extraen 26 millones de barriles diarios, y eso supone sólo la tercera parte de la producción mundial.

Del petróleo se obtienen multi-

tud de productos y sustancias que son imprescindibles para las economías de los países industrializados. Lo primero que se te vendrá a la cabeza será la gasolina de los coches, pero hay muchos otros: queroseno (carburante para aviones), asfalto (para pavimentar calles y carreteras), etanol (con el que se fabrican productos de higiene, cosméticos y medicamentos), tolueno (sustancia que se usa en la fabricación de poliuretano,

CONSECUENCIAS

La subida de la gasolina trae de cabeza a todos los países industrializados

P. C.

El petróleo es imprescindible para muchas cosas, pero la subida de su precio ha tenido básicamente una consecuencia muy sonada, porque es algo que afecta a las economías domésticas de millones y millones de personas, y no se queda sólo en grandes palabras "macroeconómicas" y titulares de periódicos: el aumento del precio de la gasolina y el gasóleo.

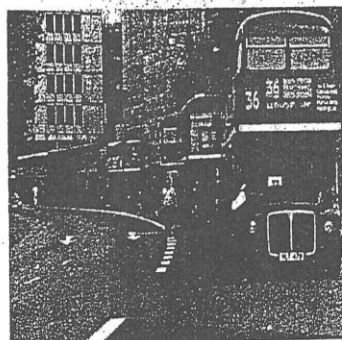
En España, aunque sin llegar a los extremos de la situación que ves en la imagen (un usuario llenando el depósito bajo la implacable vigilancia de un soldado en Ecuador, país donde hace unos meses llegó a doblarse el precio de la gasolina), también lo estamos sufriendo, y mucho.



A pesar de que la dependencia del petróleo se redujo desde la primera crisis de este tipo, en los años 70, casi la mitad de nuestras necesidades de energía se cubren mediante derivados del crudo.

En el caso de la gasolina, los precios han subido un 30% desde comienzos de 1999. Por ejemplo, si en enero del año pasado un litro de gasolina sin plomo costaba 107 pesetas, ahora vale 139.

Con este panorama, es lógico pensar que las compañías que se reparten el negocio (en España son tres: Repsol, Cepsa y BP) se están haciendo de oro (y no negro). Sin embargo, no es exactamente así, ya que una buena parte de lo que paga un automovilista cuando llena el depósito va a parar al Estado en concepto de impuestos.



¡A QUEJARSE! En esta ocasión, toda Europa se ha puesto de acuerdo: agricultores y transportistas de la Unión Europea (UE) se han movilizado en las últimas semanas para protestar por la escandalosa subida de los precios de los carburantes y pedir a sus respectivos gobiernos una bajada de los impuestos. Pero la UE no está por la labor. Una solución, que tendrían que adoptar todos los países miembros de forma conjunta, sería reducir el IVA que han de pagar los consumidores. Aunque los particulares (¿quién no tiene coche y/o moto?) se están viendo muy afectados, los más perjudicados son los sectores que han liderado las manifestaciones de protesta: el agrícola y el transportista. En cualquier caso, el problema es de todos, porque la UE depende de la importación de productos petrolíferos para satisfacer sus demandas de energía.

Lectura 1

"El oro negro"

Lee atentamente el artículo *"PETRÓLEO. El "oro negro" es cada vez más caro y escaso. Consecuencias"*.(El Mundo. Edición Aula.16/10/00) y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- ¿ Por qué se le llama oro negro al petróleo?
- 2- ¿ Por qué se ha triplicado el precio del crudo en este último año?
- 3- ¿ Qué o quiénes son los responsables de esta subida?
- 4- ¿ Es su uso como combustible el único destino del petróleo?
- 5- ¿En cuántos años se agotarán las reservas si continuamos consumiendo petróleo al ritmo actual?
- 6- ¿ Qué consecuencias económicas y sociales tiene la subida?
- 7- ¿ Después de leer el artículo puedes explicar qué se quiere decir cuando se habla de "crisis del petróleo"?
- 8- ¿ Qué soluciones propone el artículo?
- 9- ¿Qué soluciones propones tú?. ¿Por qué?

ECONOMÍA

EL PAÍS

EL IMPACTO DEL PETRÓLEO. La actual crisis desatada por el alza del precio del petróleo ha puesto de manifiesto que Occidente depende excesivamente del exterior para abastecerse de energía. Aunque la situación no es tan grave

como a principios de los años setenta, las autoridades de la Unión Europea están preocupadas por el alto consumo, que en unos años acentuará la actual dependencia y amenaza con desatar una grave crisis. La Comisión tiene previsto pre-

sentar esta semana el plan para reducir la dependencia energética de la UE del sector energético, incluso a Arabia Saudí, buscan producción de cru-

Loyola de Palacio presenta esta semana un plan para reducir la dependencia energética de la UE

Bruselas advierte de que el ritmo actual de consumo de energía provocará una grave crisis

SANDRO POZZI. Bruselas. La crisis actual del petróleo es sólo una muestra de la vulnerabilidad de la Unión Europea en el ámbito del aprovisionamiento energético. Las previsiones pintan mal. La Comisión Europea estima que la dependencia global de la economía europea hacia las importaciones de energía crecerá hasta el 70% en las próximas dos décadas (desde el 50% actual), situándose por encima del nivel que se tenía cuando estalló la primera crisis del petróleo en los años setenta. "Si no se frena el crecimiento del consumo en sectores en expansión como el transporte y el hogar, la dependencia energética de la UE será cada vez más preocupante", según indican fuentes comunitarias.

La ampliación al Este y el abandono de la energía nuclear no harán más que agravar esta tendencia, si no se adoptan políticas activas de forma coordinada en la UE. Además, el desarrollo de las fuentes de energía renovables tendrá un efecto muy limitado y ayudará a cubrir simplemente el incremento del consumo.

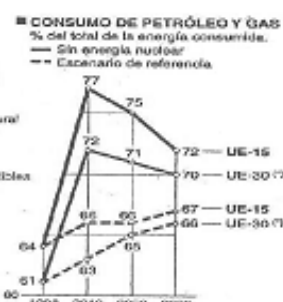
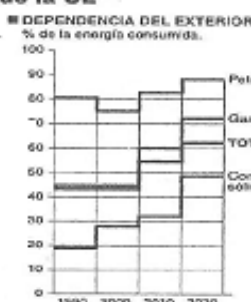
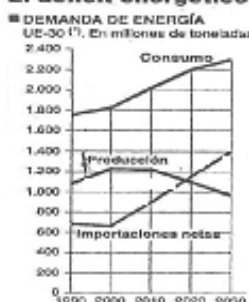
La subida brutal del precio del petróleo ha puesto en evidencia, una vez más, la fragilidad de la estructura de aprovisionamiento energético global de la economía europea, a lo que se suma el escaso margen de maniobra del que dispone la UE sobre las condiciones de oferta de energía. Por este motivo, la comisaria europea de Energía, Loyola de Palacio, presentará el próximo miércoles en Bruselas un documento con el que pretende lanzar por primera vez un debate sobre las cuestiones más polémicas para afrontar el problema de dependencia energética de la UE.

Panorama pesimista

El panorama que se dibuja es muy pesimista. La UE importa cada vez más productos energéticos debido a que la producción comunitaria es insuficiente para cubrir las necesidades internas. En 1998, el consumo total de energía alcanzó los 1.436 millones de tep (toneladas equivalentes de petróleo) frente a una producción comunitaria de 735 millones de tep. La demanda de electricidad crecerá a un ritmo comparable al del crecimiento económico (3% del PIB) durante los próximos 20 años. El consumo de energía por parte de la industria se ha estancado, pero en el sector del transporte seguirá creciendo a un ritmo del 2% anual.

A todo esto hay que añadir que las reservas energéticas europeas son modestas y que al continuar el nivel de consumo actual, las reservas de hidrocarburos en el Mar del Norte resistirán ocho

El déficit energético de la UE



* Unión Europea actual más los países del Este.
Fuente: Comisión Europea.

EL PAÍS

La Comisión Europea defiende la continuidad de las centrales nucleares

S. N. Bruselas. La polémica con las organizaciones ecologistas está servida. Entre la docena de preguntas que propone la Comisión Europea para lanzar el debate global sobre cómo tiene que afrontar la UE el problema de abastecimiento energético hay una que lo liga con la continuidad de la energía nuclear. El documento elaborado por la comisaria Loyola de Palacio ensalza además los beneficios de esta fuente energética en la lucha contra el cambio climático y afirma que es segura. El problema principal es el tratamiento de los residuos nucleares.

La UE no está al día de hoy en situación para cumplir sus compromisos en la lucha contra el cambio climático. El incremento de la demanda en el sector del transporte y con el cierre de todas las centrales nucleares

en ocho países europeos será aún más difícil. El factor ecológico no es el único argumento que utiliza Bruselas para defender su continuidad. La energía nuclear representa en la actualidad el 35% de la producción eléctrica global de la UE frente al 27% de los combustibles sólidos, al 16% del gas natural, al 15% de las renovables y al 8% del petróleo.

A finales de los años setenta, la energía nuclear y el carbón estaban consideradas como las únicas alternativas al petróleo. Se pusieron en marcha a partir de entonces programas de inversión que han permitido reducir la vulnerabilidad externa de la UE y ahorrar hasta 45.000 millones de euros la balanza comercial energética de la UE este año. Pero a pesar de su competitividad y de su aportación positiva a la balanza energética glo-

bal, la energía nuclear está mal vista entre la opinión pública por su potencial de riesgo para la salud y el medio ambiente.

Su futuro es incierto y lo único que está claro es que su crecimiento es improbable. Por este motivo, la Comisión Europea pretende que se analice la contribución a medio plazo de esta fuente de energía, por un lado, en la lucha contra el cambio climático, y por otro, para incrementar la seguridad de abastecimiento energético de la UE.

Bruselas pone un ejemplo del efecto del abandono de la energía nuclear. La decisión de Suecia de cerrar la unidad nuclear de Barsebäck ha creado un déficit en la producción eléctrica de 4.000 millones de kWh anuales y un aumento indirecto de las emisiones de dióxido de carbono de cuatro millones de toneladas.

años y las de gas natural algo más de 20 años. El problema de dependencia se agravará aún más con el abandono parcial de la energía nuclear.

La UE ocupa en la actualidad la segunda plaza en el escalafón de consumidores de energía y la primera entre los importadores. Tras la primera crisis petrolífera, los países europeos lograron reducir del 60% (1973) al 50% (1999) su nivel de dependencia energética gracias a las políticas que se adoptaron para la gestión de la demanda y para el desarrollo de las energías domésticas como la nuclear. Pero ante este pa-

norama de incremento del consumo, la Comisión Europea prevé que la dependencia energética global de la economía europea se acentúe de nuevo y alcance en las próximas dos décadas el 70%.

El nivel de dependencia para el petróleo se situará en el 90%, para el gas natural en el 70% y para el carbón del 100%. La ampliación de la UE hacia la Europa del Este reforzará esta tendencia y se estima que las importaciones de gas natural podrán llegar hasta el 90% y las de petróleo hasta el 94%. El efecto, sin embargo, será positivo para el carbón a corto plazo ya que los paí-

ses candidatos son exportadores netos.

Las energías renovables ocupan hoy una plaza modesta en la economía europea, pero su potencial es una de las claves para invertir esta tendencia y conseguir una mayor diversificación. La UE se ha fijado como objetivo que el 21% de la producción eléctrica comunitaria se obtenga a partir de estas fuentes en 2010 (12% del consumo final). El problema es que en las condiciones actuales, gran parte del aumento de la producción a partir de fuentes renovables será absorbido por el crecimiento del consumo.

Lectura 2

"Al borde de la crisis"

Lee atentamente el artículo “ *EL IMPACTO DEL PETRÓLEO. Bruselas advierte que el ritmo actual de consumo de energía provocará una grave crisis. La demanda de combustible sube un 6,9% pese a sus altos precios. La comisión europea defiende la continuidad de las centrales nucleares.*”(El País. Sección Economía-trabajo.27/11/00) y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- Observa las gráficas de demanda de energía y explica las razones de la fuerte subida en las importaciones netas a partir del 2000, y por qué era tendencia preocupa tanto a la Unión Europea.
- 2- ¿Qué problema existe para que las energías renovables no puedan asumir plenamente el relevo energético?
- 3- ¿Por qué se propone retomar la energía nuclear?.¿Qué opinas al respecto?
- 4- En lo referente a nuestros hábitos, aunque los precios del combustible han subido por las nubes y hay muchos sectores afectados económicamente ¿ha afectado esto al consumo?
- 5- Reflexionando sobre el punto anterior y sobre las causas del crecimiento actual de la demanda energética (punto 1) ¿Qué alternativas se puede proponer para evitar o disminuir este problema?

EL PAÍS, martes 26 de septiembre de 2000

El 30% de la energía se malgasta por el uso ineficiente en casas, empresas y vehículos

La ONU reclama un encarecimiento de la factura que refleje los costes medioambientales

JAVIER SAMPEDRO, Madrid
El 80% del consumo energético mundial procede de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), cuyo uso emite gases dañinos que calientan el planeta. Con las ten-

dencias actuales no se puede sostener ningún modelo de desarrollo económico que sea compatible con la preservación del medio ambiente, según el *Informe mundial de la energía* que acaba de publicar la ONU. El estu-

dio establece tres líneas de actuación imprescindibles (y rentables): más investigación, más fuentes renovables y más eficiencia en el consumo de casas, empresas y vehículos, que ahora malgastan el 30% de la energía.

Sin cambios legislativos adecuados, su menor coste seguirá estimulando el actual uso ineficiente de los combustibles fósiles tradicionales, y cualquier modelo de desarrollo económico será "insostenible", es decir, incompatible con la calidad del medio ambiente. Es imprescindible usar la energía más eficazmente, sobre todo en el punto final de utilización: edificios, aparatos eléctricos, vehículos y plantas de producción, afirma la ONU.

"Durante los próximos 20 años", señala el informe, "la cantidad de energía primaria requerida para un servicio dado puede ser reducida, de forma rentable, entre un 25% y un 35% en los países industrializados". Ese posible ahorro es aún mayor (hasta un 45%) en la mayoría de los países en desarrollo, cuyos vehículos y equipamientos están menos optimizados aún.

Las técnicas necesarias para esos incrementos de eficiencia ya existen. Pero su aplicación, según la ONU, está dificultada por una serie de "imperfecciones de mercado", corregibles por los Gobiernos, y entre las que se encuentran: la falta de información y preparación técnica; la incertidumbre empresarial sobre la rentabilidad de las inversiones en tecnologías de alta eficiencia; la falta de incentivos para abordarlas; que el inquilino pague la factura de la luz (mientras que es el propietario el que tendría que invertir en mejores equipos); y que la contaminación no vaya incluida en la factura energética.

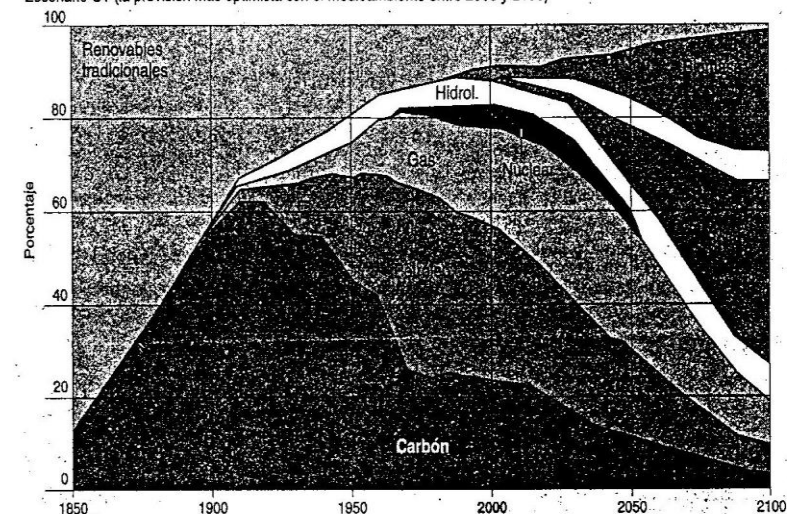
Algunas de estas "imperfecciones de mercado" pueden corregirse sin necesidad de subir los precios de la energía, pero el informe de la ONU puntualiza: "Las políticas de eficiencia energética que usan mecanismos de precios directos o indirectos (tales como la supresión de subsidios y la incorporación de los efectos sobre el entorno) son eficaces para reducir las tendencias de consumo".

Actualmente, las energías renovables (hidráulica, solar, eólica, geotérmica y por biomasa),

El futuro del consumo energético

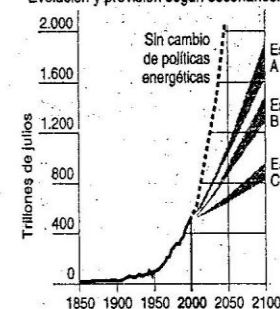
■ Tipo de energía utilizada

Escenario C1 (la previsión más optimista con el medioambiente entre 2000 y 2100)



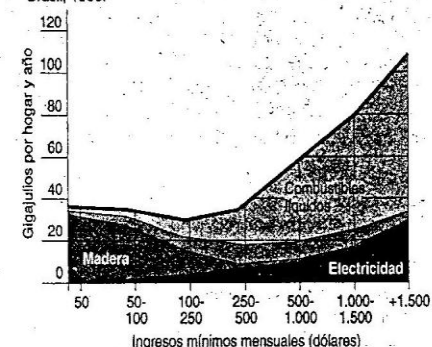
■ Demanda global de energía

Evolución y previsión según escenarios.



■ Consumo de energía según los ingresos

Brasil, 1988.



Fuente: ONU.

EL PAÍS

que no emiten gases perjudiciales, satisfacen el 14% del consumo energético mundial. El principal freno a su crecimiento es el alto riesgo económico que suponen, pero el informe de la ONU señala que los costes de estas tecnologías han declinado con rapidez hasta el punto de hacerlas competitivas frente a los combustibles fósiles en algunos sectores, y sobre todo en las áreas rurales. El informe prevé que esa tendencia persistirá, con un 20% de caída en los costes por cada du-

plicación del uso de la tecnología en cuestión. La ONU recomienda a los Estados financiar las fases tempranas de su instalación y, simultáneamente, aumentar los precios de los combustibles fósiles para reflejar sus costes medioambientales.

El informe presenta también un panorama de la situación energética en el mundo. Actualmente, 2.000 millones de personas viven sin acceso a formas modernas y adecuadas de energía. Estados Unidos consume

per cápita ocho veces más energía que el África subsahariana. La combustión deficiente en el hogar y otros espacios cerrados causa 3 millones de muertes prematuras al año, casi todas de mujeres y niños. La demanda energética de la industria europea occidental se ha mantenido constante durante los últimos veinte años.

El *Informe mundial de la energía* de la ONU puede consultarse en www.undp.org/seed/energy/activities/wea

Lectura 3

"La energía se malgasta"

Lee atentamente el artículo *"EL 30% DE LA ENERGÍA SE MALGASTA POR EL USO INEFICIENTE EN CASAS, EMPRESAS Y VEHÍCULOS. La ONU reclama un encarecimiento de la factura que refleje los costes medioambientales". (El País. Sección Sociedad. 26/09/00)* y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- ¿Cuál es la fuente principal de energía actual? ¿Cuáles podrían ser en el 2010 según las previsiones del artículo?
- 2- ¿Cuáles son las tres líneas de actuación imprescindibles y rentables según la ONU para sostener el desarrollo económico preservando el medioambiente?
- 3- ¿Qué quiere decir desarrollo sostenible /insostenible?
- 4- ¿Qué cantidad de energía puede ser reducida mediante ahorro en los próximos 20 años?
- 5- ¿Cuál es la situación actual en la implantación de las energías renovables?.
- 6- ¿Qué recomienda la ONU para su implantación?
- 7- ¿Cuáles son las recomendaciones generales de la ONU en materia energética?

muyinteresante

ENERO 2002 • Nº 248

Acuerdo en Marraquech para salvar el Protocolo de Kioto

Primer compromiso serio contra el cambio climático

Estados Unidos sigue sin unirse a la reducción global de los gases contaminantes

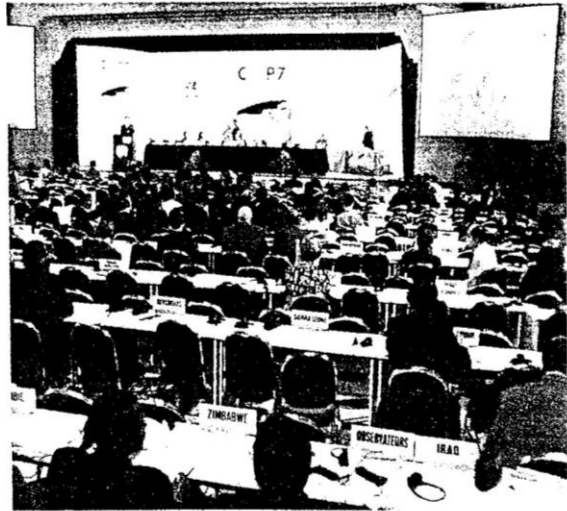
Marraquech (Marruecos), noviembre

La VII Cumbre del Clima celebrada en Marraquech se cerró con la firma de un acuerdo por el que los países firmantes se comprometen, por fin, a poner en marcha las medidas adoptadas en el protocolo de Kioto de 1997: la reducción en un 5,2 por 100 de los niveles de contaminación que cada país emite respecto a los que emitía en 1990. A la firma final se unieron Japón, Rusia, Canadá y Australia, países reacios tradicionalmente a aceptar el acuerdo. Para ello ha habido que flexibilizar algunas normas. Por ejemplo, a Japón se le permite una vía de escape en el caso de que el protocolo resulte incompatible con su legislación nacional y a Rusia se le ha duplicado el número de toneladas de CO₂ consentidas en función del supuesto efecto sumidero de sus bosques. EE UU sigue sin aceptar ningún compromiso para reducir su contaminación.

A pesar de tales limitaciones, la cumbre puede considerarse un éxito después del fracaso de La Haya en 2000. Este año, precisamente, la ONU ha hecho público un informe donde se detallan las sequías, inundaciones, epidemias y hambrunas que sufrirá el planeta por causa del cambio climático. ■

El gráfico del globo terráqueo muestra cómo la contaminación crea un manto que absorbe calor irradiado por la Tierra y aumenta la temperatura. A la derecha, dos curvas con las previsiones más optimistas y pesimistas sobre el cambio climático.

El ministro de Medio Ambiente de China se dirige a los asistentes a la última Cumbre del Clima celebrada en Marraquech.

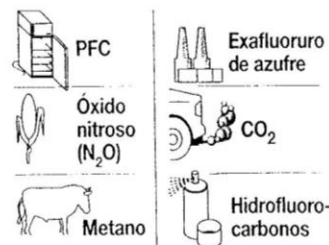


COTTON PRESS

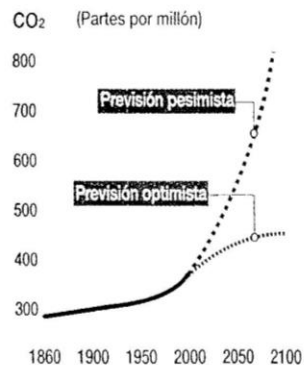
Radiografía del calentamiento global



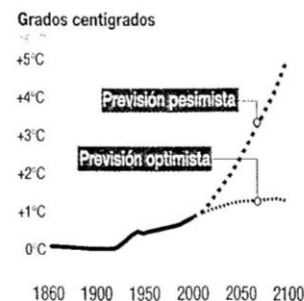
Gases contaminantes



Concentración de CO₂



Aumento de la temperatura



CARLOS AGUILERA

Lectura 4

"Todos contra el cambio climático"

Lee atentamente el artículo "*Primer compromiso serio contra el cambio climático*". (Muy Interesante..01/02) y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- ¿Por qué se está produciendo un calentamiento progresivo de la tierra en los últimos años?
- 2- ¿Cómo se llama éste efecto y qué gases lo originan?
- 3- Qué medidas se adoptaron en el protocolo de Kioto de 1997?
- 4- ¿Se firmó este acuerdo en la cumbre de La Haya del 2000?
- 5- La firma del protocolo que se dio en Marrakech en noviembre de 2001 ¿supone un éxito total? ¿por qué?
- 6- ¿Por qué a Rusia se le permiten más emisiones de CO₂? ¿Qué significa "efecto sumidero" de los bosques?
- 7- Observa las gráficas y comenta las previsiones para este siglo.

EL PAÍS, martes 5 de marzo de 2002

Las emisiones españolas de gases de efecto invernadero han aumentado ya un 28,9%

El consejo de ministros de la UE aprueba ratificar el Protocolo de Kioto sobre clima

A. RIVERA / G. CAÑAS, Madrid / Bruselas
Las emisiones de gases de efecto invernadero españolas han aumentado en un 28,9% en 2000 respecto a 1990, según datos presentados ayer conjuntamente por

el secretario de Medio Ambiente de Comisiones Obreras y el editor en España de la organización WorldWatch. Esto supone que casi se ha duplicado ya el crecimiento de las emisiones que provocan el cambio

climático consentido para España en el marco del Protocolo de Kioto, fijado en un 15%. Los ministros de Medio Ambiente de la UE acordaron ayer la ratificación de dicho documento este semestre.

"El aumento del 28,97% es alarmante porque las emisiones deberían haberse estabilizado y empezado a reducir", comentó ayer Joaquín Nieto, secretario confederal de Medio Ambiente de CCOO. El volumen de emisiones se expresa en CO₂ equivalente, según una conversión internacional que traduce a toneladas de dióxido de carbono todos los gases (seis contempla el Protocolo de Kioto) de efecto invernadero. En cantidades absolutas, se ha pasado de 308,536 millones de toneladas de CO₂ en 1990 a 397,932 millones en 2000.

Este porcentaje corresponde a las emisiones una vez descontado el efecto de absorción de CO₂ de los bosques. "Sin contar ese efecto sumidero del inventario forestal, el aumento en España en 2000, respecto a 1990, es del 32%", puntualizó José Santamarta, editor en España de WorldWatch.

La metodología seguida por estas dos ONG para hacer los cálculos de emisiones es la indicada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), de Naciones Unidas. Santamarta denunció la dificultad que tienen que superar las ONG para obtener los datos que deben facilitar las instituciones públicas. Por ejemplo, recordó, no se han podido calcular las emisiones de 2001 porque no se han dado a conocer los datos referentes a producción de energía primaria.

Una portavoz del Ministerio de Medio Ambiente indicó ayer que según los últimos datos disponibles, para 1999, las emisiones en España habían crecido un 23,2% respecto a 1990 y dijo que los de 2000 se darán a conocer "en breve".

Según el Protocolo de Kioto, todos los países de la UE deben reducir sus emisiones en un 8% en 2008-2012 respecto a 1990, pero el reparto interno de la carga establece que 11 países



El ministro Jaime Matas (derecha), y su colega holandés Jan Pronk, antes de la reunión ayer en Bruselas. / EFE

reducen en diferentes porcentajes y cuatro pueden aumentarla, incluida España con un incremento del 15%.

Acuerdo en Bruselas

Los ministros de Medio Ambiente de la UE, reunidos ayer en Bruselas, acordaron por mayoría ratificar el Protocolo de Kioto, tal y como habían anunciado en los últimos meses. El presidente de la Comisión Europea, Romano Prodi; el presidente de turno del Consejo de Ministros, Jaime Matas, y la organización Greenpeace coincidieron en señalar que el de ayer fue un "día histórico" y en criticar a EE UU, que renunció a Kioto poco después de llegar George Bush a la presidencia.

La UE quiere llegar a la Cumbre de Johannesburgo de Desarrollo Sostenible Rio+10

(a final de agosto) con el Protocolo de Kioto ya en marcha; el trámite de ayer era necesario para ello. Matas aseguró que todos los países de la UE van a cumplir en tiempo y forma su compromiso, lo que equivale a decir que todos tienen que haber ratificado antes de junio. Francia, Dinamarca, Luxemburgo y Portugal han concluido ya los trámites nacionales y están listos para ratificar.

Tanto Prodi como la comisaria de Medio Ambiente, Margot Wallström, insistieron en la determinación de la UE de jugar un papel de liderazgo en la lucha contra el cambio climático. Bruselas considera que con una buena gestión el coste para la UE de aplicar Kioto no debe alcanzar el 0,06% del PIB, aunque añade que si no hay suficiente eficacia el coste real podría llegar al 0,3%.

España ha iniciado el proceso de ratificación del Protocolo, que tiene que discutir el Parlamento. Pero a la vista del aumento de las emisiones, que casi doblan el máximo autorizado por la UE del 15%, el representante de CCOO declaró: "El Gobierno todavía no ha reaccionado y muestra una pasividad irresponsable". CCOO y WorldWatch destacan, entre las medidas necesarias, "la puesta en marcha inmediata de una Estrategia Nacional del Clima, anunciada hace tiempo por el Gobierno". Sin embargo, aún no se ha constituido el Consejo Nacional del Clima, que tiene que elaborar la estrategia. "España tiene una doble responsabilidad: concluir con urgencia su proceso de ratificación y, como presidente de la UE, asegurar que los otros 10 lo hagan a tiempo", dijo Greenpeace.

Lectura 5

"La situación ambiental actual española"

Lee atentamente el artículo *"Las emisiones españolas de gases de efecto invernadero han aumentado ya un 28,9%". (El País, 05/03/02)* y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- ¿Qué reducción en las emisiones de CO₂ se decidió en el protocolo de Kioto para la Unión Europea en general, y cuál para España?
- 2- ¿Cuál es la situación española en realidad? (% de emisiones contando y sin contar el "efecto sumidero")
- 3- ¿Cuál es la próxima cita "mundial" para debatir sobre medio ambiente? ¿Qué meta se ha fijado la U.E. ante esta cumbre?
- 4- ¿Qué papel tiene España actualmente en todas estas citas?
- 5- ¿Qué opinas sobre la cuota concedida a España en Kioto? ¿Cuál sería tu propuesta?

La gran demanda de energía impide a España cumplir la cuota europea de fuentes limpias

La producción energética solar sólo alcanza el 1% del total, pese a la gran irradiación

INMACULADA G. MARDONES, Madrid. España ocupa ya el tercer puesto europeo en producción de energía eólica, pero, a pesar del despegue de esa energía, que evita la emisión de millones de kilos de CO₂ y otros

gases contaminantes a la atmósfera, el resto de energías renovables no crece a la misma velocidad que en Europa, donde los responsables del sector se han comprometido a cubrir con fuentes limpias el 12% de la de-

manda para el 2010. De momento, España sólo alcanza el 6,5%, y tanto Industria como las comunidades autónomas creen que la meta es inalcanzable, debido al gran aumento del consumo energético.

En la última década los molinos de viento han escapado definitivamente de la literatura cervantina. Se han convertido en una potente fuente de energía limpia y renovable, capaz de producir corriente eléctrica aunque el viento sopla a menos de seis metros por segundo, algo impensable cuando empezaron a funcionar las primeras instalaciones en Tarifa, junto al estrecho de Gibraltar, en 1995.

En pocos años la energía eólica ha crecido cerca del 40%, mientras sus costes se han reducido casi en la misma proporción. A finales de diciembre pasado la potencia instalada alcanzaba ya en España los 1.834 megavatios (equivalente al consumo de 366.800 familias).

La semana próxima el presidente de Castilla-La Mancha, José Bono, pondrá la primera piedra del parque eólico más grande del mundo. Cuando esté concluido, los molinos de Higuera (Albacete), producirán 111 megavatios, una potencia energética capaz de atender el consumo de electricidad de más de 22.200 familias manchegas.

Sin embargo, Esteban Borrás, gerente de EHN, la empresa semipública que construye el parque de Higuera y que ha situado a Navarra a la cabeza de la energía eólica en España, no ve factible alcanzar el objetivo europeo de fuentes limpias a pesar de que esa comunidad autónoma rebasa claramente esa cuota con un 23%. En el último año la demanda energética en Navarra ha crecido un 7%, y si el ritmo de crecimiento se mantiene a ese nivel, Borrás asegura que será difícil atenderlo con energía renovable.

Albert Mitja, director general de energía y minas de la Generalitat de Catalunya, sostiene la misma opinión, y Cayetano Hernández, director de operaciones del IDAE, comparte ese pronóstico. Así lo manifestaron todos ellos en la tercera conferencia internacional sobre promoción y desarrollo de las energías renovables, celebrada la pasada semana en Pamplona.

La energía eólica mantiene el liderazgo absoluto entre todas las fuentes energéticas limpias en España. Pero en otros países como Dinamarca, su Parlamento ha propuesto que para los próximos 20 años los molinos de viento aporten el 40% de todo el consumo energético nacional. Como en este país nórdico apenas queda espa-

cio para nuevos parques eólicos, se plantean instalarlos en el mar.

Multiplicar por siete la capacidad actual instalada de energía eólica a finales del pasado año encuentra dificultades para su desarrollo por la falta de planes de ordenación territorial, la reticencia de los ayuntamientos a conceder licencias, la ausencia de puntos de conexión accesibles a la red eléctrica y la oposición de las organizaciones ecologistas locales, ya que las de ámbito nacional son muy receptivas a este tipo de energía limpia, asegura Cayetano Hernández.

Hasta que la eólica alcance las expectativas que promete, la energía renovable más desarrollada es la hidráulica, que dispone de 2.500 megavatios potenciales sin explotar. Nuevamente son los ayuntamientos y otras administraciones las que demoran la concesión de licencias —en algunos casos se superan los ocho años—, según se denunció en Pamplona.

A mucha distancia le siguen la energía generada por la combustión de biomasa (residuos forestales y agrícolas, pasta de papel, cultivos energéticos y otras actividades como la paja de ce-

reales y los residuos del procesamiento de la aceituna) cuyo despegue, muy incipiente en España, está a merced de proporcionar una mayor garantía y seguridad en la producción de estos residuos, para abastecer en continuo las plantas de tratamiento.

Pese a ser uno de los países con más horas de sol, su aprovechamiento como fuente energética limpia queda lejos en España de los rendimientos que se obtienen en países como Alemania. Apenas alcanza el 1%, pese a que su potencial es ilimitado. En la producción de agua caliente existe una capacidad viable de 27 millones de metros cuadrados, que no se alcanzarán en tanto no se regule su aplicación en las edificaciones. Salvo el caso aislado del municipio de Barcelona, ni las administraciones públicas en general, ni los ayuntamientos, facilitan su desarrollo.

Carmen Becerril, directora general del IDAE, asegura que en ocho años se amortizan las inversiones iniciales, por lo que debería extenderse la obligatoriedad de que todos los nuevos edificios cuenten con preinstalaciones, para que las comunidades de vecinos incorporen con posterioridad y voluntariamente este procedimiento tan barato y limpio de obtener agua caliente.



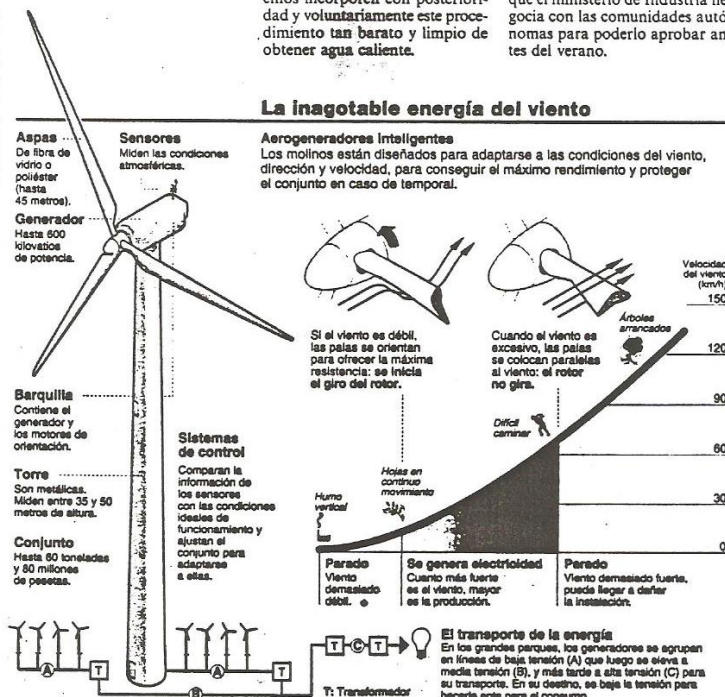
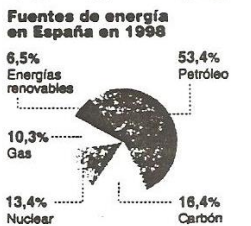
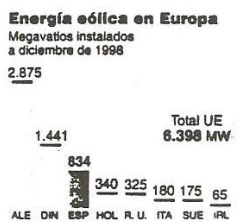
Potencial eólico
Capacidad de producción de energía eólica con la tecnología actual. Megavatios instalables.

Galicia	2.750
Andalucía	1.150
Aragón	1.750
Navarra	1.600
Castilla y León	1.500
Murcia	1.375
Cataluña	1.300
Asturias	1.300
Cantabria	1.300
C. Valenciana	1.300
País Vasco	1.250
Extremadura	1.250
Canarias	1.200
Resto	1.275



1.000 MW en construcción
Entrada en servicio en 1999

Número de parques	Potencia (MW)
Galicia	17
C. La Mancha	112
Aragón	108
C. y León	196
Navarra	97
Canarias	49
Andalucía	43
Cataluña	39
Total 1999	1.834 MW



El futuro de las energías renovables en España

Minihidráulica

Potencia viable	2.500 MW
Potencia actual	1.465 MW
Obstáculos:	• Plazo excesivo para la obtención de licencias (6 años en algunos casos) • Oposición de ecologistas

Eólica

Potencia viable	12.000 MW
Potencia actual	834 MW
Obstáculos:	• Recelo de los municipios • Difícil conexión a la red • Oposición de ecologistas locales

Solar térmica

Potencia viable	27.000.000 m²
Potencia actual	340.000 m²
Obstáculos:	• Ausencia de normas que la integren en la edificación • Desconocimiento de los posibles usuarios

Solar fotovoltaica

Potencia viable	ILIMITADA
Potencia actual	4.686 MW
Obstáculos:	• Falta de normas sobre la conexión a la red • Inversión inicial elevada • Desarrollo tecnológico

Biomasa y biocarburantes

Potencia viable	Forestales y agrícolas: 10,4 Mtep
Biodegradable:	0,5 Mtep
Cultivos energéticos:	5,7 Mtep
Biocarburantes:	0,6 Mtep
Potencia actual:	3,62 Mtep
Obstáculos:	• Demanda de ayudas a la producción de cultivos

Mtep: Mill. de toneladas equivalentes de petróleo

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

GUSTAVO HERNÁNDEZ / EL PAÍS

Lectura 6

“Alternativas energéticas en España ”

Lee atentamente el artículo *“LA GRAN DEMANDA DE ENERGÍA IMPIDE A ESPAÑA CUMPLIR LA CUOTA EUROPEA DE FUENTES LIMPIAS. La producción energética solar sólo alcanza el 1% del total pese a la gran irradiación”* (El País. Sección Sociedad. 24/05/99) y contesta a las siguientes cuestiones:

- 1- ¿Qué porcentaje de la demanda energética se ha comprometido a cubrir Europa mediante las “fuentes limpias”? ¿En qué situación se encuentra España en este momento?
- 2- ¿ Cuáles son las energías limpias citadas en el artículo?
- 3- ¿Cuál es la energía renovable más importante en España actualmente? ¿ Qué crecimiento ha tenido en los últimos años?
- 4- ¿Cuál es su porcentaje de la energía eólica en Navarra sobre el total de la energía consumida? ¿ Porqué el gerente del parque eólico no ve factible alcanzar la cuota europea pese a los magníficos resultados actuales?
- 5- Siendo un país con tantas horas efectivas de luz solar ¿Cuál es su porcentaje sobre el total de la energía consumida?
- 6- Según la directora General del IDAE, ¿Qué pauta que debería seguirse para incrementarlo?
- 7- ¿Cuáles son las razones reales del estancamiento actual de la energía solar?
- 8- ¿Qué opinas al respecto?

3.- **ENERGÍAS RENOVABLES:**

Tras analizar el panorama energético actual y la problemática que deriva de este, tanto desde el punto de vista socioeconómicos como ambiental, llegamos a la conclusión de que es necesario investigar y potenciar energías alternativas a las fósiles y que estas deben ser lo más respetuosas con el medioambiente. Ese es el camino que se está abriendo lentamente hacia las energías renovables, pero ¿qué es eso de energías renovables?

*“Una **energía renovable** es aquella que la naturaleza genera continuamente.” Son por tanto fuentes de energía inagotables.*

Entre los tipos de energías renovables se encuentran:

- Hidroeléctrica
- Solar (térmica y fotovoltaica)
- Eólica
- Mareomotriz
- De la biomasa
- Geotérmica
- Nuclear de fusión

Salvo la mareomotriz, la geotérmica y la nuclear de fusión las demás tienen como generador la acción solar.

4.- **BIOMASA:**

Cuando se habla de biomasa en general nos referimos a la cantidad de materia orgánica contenida en los seres vivos o en restos provenientes de estos.

Cuando se habla de biomasa energética (o simplemente biomasa) nos referimos a toda aquella biomasa que es susceptible de ser utilizada como fuente de energía renovable. Por ejemplo la leña en una estufa, restos de poda en una barbacoa,...

Así los tipos de biomasa (energética) serían:

- Biomasa primaria o vegetal (generada a partir de la fotosíntesis)
- Biomasa secundaria o animal (desarrollada a partir de la vegetal)
- Biomasa residual (residuos orgánicos de consumo o transformación)

Algunos autores consideran una cuarta biomasa, la biomasa fósil (combustibles fósiles) por su origen orgánico. Puede tratarse como biomasa por su origen pero no como fuente de energía de biomasa como la entendemos (renovable), pues no cabría dentro de la definición de una energía renovable.

Por tanto la biomasa sería:

“ Conjunto de materia orgánica de origen animal o vegetal (así como los residuos generados en su transformación) susceptible de ser utilizado con fines energéticos y que la naturaleza puede regenerar continuamente ”

Ejemplos de materiales susceptibles de ser utilizados con este fin, en el campo de las energías renovables, son la leña de los bosques, los restos de podas, piñas, residuos de cortes de madera de los aserraderos, serrín, excrementos de animales, harinas de origen animal o vegetal, lodos de depuradoras, los restos orgánicos de nuestras basuras (papel, restos de alimentos, madera,...), los cultivos energéticos (girasol, remolacha,...), ciertos residuos industriales (cebada de una fábrica de cerveza, restos de algodón en una fábrica textil,...),etc..

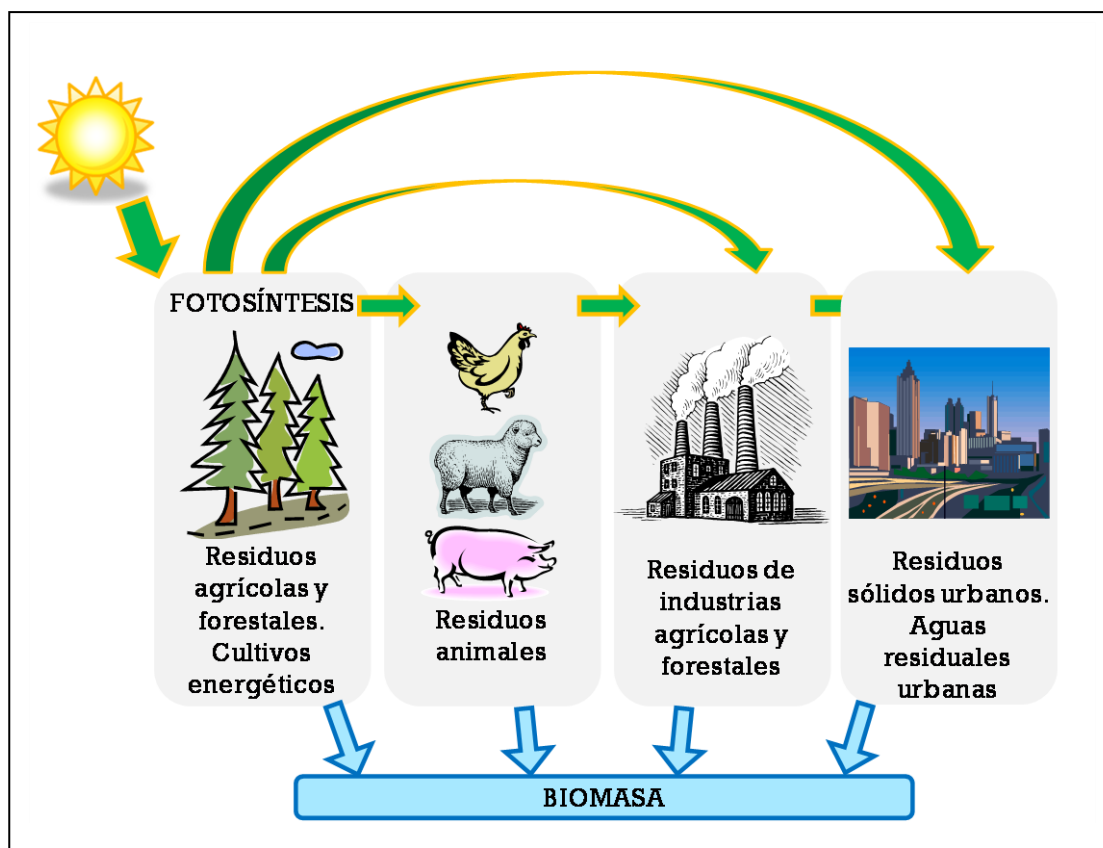


Figura 11. Tipos de biomasa (a partir de IDAE, 1996)

5.- ENERGÍA DE LA BIOMASA:

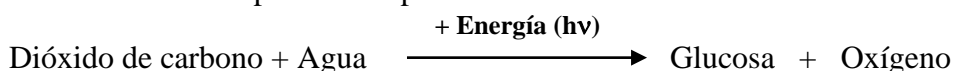
Como hemos visto anteriormente el hombre ha utilizado la biomasa como fuente de energía desde la prehistoria (combustión de leña, de restos de cosechas, ...). Pero, ¿de dónde procede la energía de la biomasa? y ¿qué transformaciones debe sufrir o deben realizarse a la biomasa para conseguir energía?

Lo primero que debemos saber es que cualquier reacción química se considera como una parte de universo en estudio y en Ciencia se le llama sistema. El resto es el entorno. Los sistemas pueden ser de tres tipos:

- Abierto: Puede intercambiar materia y energía con el entorno.
- Cerrado: No intercambia materia pero sí energía.
- Aislado: No permite transferencias de materia ni de energía con el entorno.

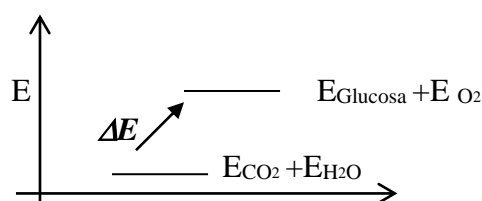
Las reacciones químicas son sistemas que tendremos que estudiar desde el punto de vista material y el energético. El estudio de los aspectos energéticos se lleva a cabo desde la termodinámica. La energía asociada a una reacción química se denomina energía química.

El origen de la biomasa está en la reacción de fotosíntesis. Este sistema químico o reacción vendría representado por:



La energía necesaria para llevarla a cabo procede del sol. En la reacción se produce un intercambio energético que se traduce en un aumento de la energía asociada de los productos respecto a la de los reactivos. La energía asociada a las sustancias iniciales (dióxido de carbono y agua) es menor a la de los productos (glucosa y oxígeno). La glucosa obtenida es un tipo de biomasa.

Se puede representar este balance energético mediante el siguiente esquema:



Esquema de la fotosíntesis como reacción endoenergética ($\Delta E > 0$)

Como la mayoría de las reacciones químicas se producen a presión constante, podemos deducir a partir del primer principio de la termodinámica que para esta situación:

*El calor intercambiado en un proceso a presión constante es la variación de una magnitud física denominada **entalpía** (**H**). Así:*

$$\Delta H = Q_p$$

Retomando la idea de balance energético entre reactivos y productos:

“Entalpía de reacción es el calor absorbido o desprendido durante el proceso a presión constante, es decir, la variación de entalpía de una reacción es igual a la entalpía de los productos menos la de los reactivos.

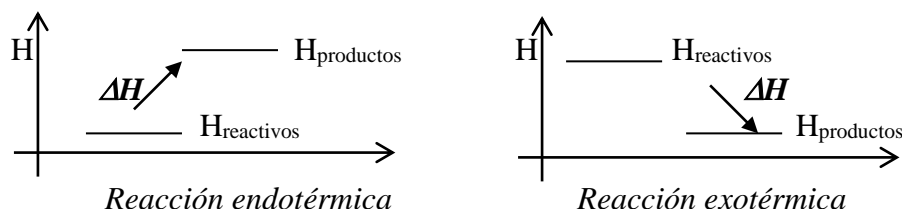
$$\Delta H = \sum H_{\text{productos}} - \sum H_{\text{reactivos}}$$

El convenio termodinámico de signos es: Si $\Delta H > 0$ el sistema gana (o absorbe) energía en forma de calor y si $\Delta H < 0$ el sistema pierde (o desprende) energía en forma de calor. En el primer caso la reacción se denomina endotérmica y en el segundo exotérmica.

Teniendo en cuenta el balance energético reactivos-productos:

Si $H(\text{productos}) < H(\text{reactivos}) \Rightarrow \Delta H < 0 \Rightarrow$ La reacción es **exotérmica** (desprende E)
 Si $H(\text{productos}) > H(\text{reactivos}) \Rightarrow \Delta H > 0 \Rightarrow$ La reacción es **endotérmica** (absorbe E)

Utilizando gráficos de entalpía:



Pero, ¿qué está ocurriendo para que haya esa diferencia de energía entre una situación y otra?. Para contestar a esta pregunta debemos estudiar los sistemas a nivel microscópico.

Lo que sucede en las reacciones químicas es una reorganización de los átomos de los diferentes compuestos iniciales (reactivos) para dar lugar a otros diferentes (productos de la reacción) mediante la ruptura y formación de enlaces.

Para romper un enlace se debe aportar energía y para formarlo se desprende energía; una reacción será exotérmica cuando la energía desprendida en la formación de nuevos enlaces en los productos supere a la requerida para romper enlaces en los reactivos, y será endotérmica cuando se dé la situación contraria.

Así, hay una energía asociada a cada tipo de enlace químico y principalmente es función de los tipos de partículas que se unen entre sí (átomos, iones o moléculas) y de la naturaleza y tipo de unión (si es un enlace simple, doble, triple, si es una fuerza intermolecular, si es de naturaleza electrostática,...)

No podemos medir la entalpía de una sustancia o la de un enlace. Lo que realmente podemos medir es el cambio de entalpía asociado a una reacción a presión constante. Así, la energía requerida para el proceso de formación de los enlaces químicos se puede calcular a partir de la reacción de ruptura de estos y su entalpía asociada. Para un enlace la entalpía se define como:

“Entalpía de enlace es la energía necesaria para romper un enlace determinado” (tendremos que aportar tanta energía para romperlo como energía esté asociada a ese tipo de unión).

Por tanto, cuanto mayor sea esta energía más estable será dicha unión.

Existen tablas de los distintos valores de energía de enlace dependiendo de qué átomos se encuentren unidos y el tipo de unión. Al utilizar éstas tendremos en cuenta que las energías de disociación (ruptura) se refieren a sustancias en estado gaseoso y que además son valores medios pues, como hemos dicho, y podemos observar en los ejemplos, el entorno del enlace dentro de la molécula influye directamente en el valor de la entalpía de disociación.

H-O-R \Rightarrow R= H	$\Delta H=498\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
R= CH ₃	$\Delta H=437\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
R= C ₂ H ₅	$\Delta H=436\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
R= C ₆ H ₅	$\Delta H=361\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
H-CR \Rightarrow CR= CH ₃	$\Delta H=438\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= CH ₂ -CN	$\Delta H=389\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= C ₂ H ₅	$\Delta H=419\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= C ₆ H ₅	$\Delta H=469\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
H₃C-CR \Rightarrow CR= CH ₃	$\Delta H=376\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= CH ₂ -CN	$\Delta H=336\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= C ₆ H ₅	$\Delta H=317\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
CR= ^t C ₄ H ₉	$\Delta H=425\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Ejemplos de valores de energías de enlace en distintas moléculas

$\Delta H \text{ (kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$	
H-H	436
H-O	460
H-C	414
H-N	393
O-O	142
O=O	499
C-C	348
C=C	612
C \equiv C	962
C-O	352
C=O	740
N-N	160
N=N	418
N \equiv N	946

Valores medios de entalpías de enlaces

Los valores de entalpía de enlace son idénticos para el caso de ruptura o de formación, pero su signo es distinto. Serán positivos en el caso de ruptura del enlace (debemos aportar energía para romper enlaces) y negativos en el caso de formación de éstos (se desprende energía al formarse un enlace).

Observamos que las **unidades** en las que se mide la entalpía es la de cualquier tipo de energía, el julio (J) en el S.I.. Como las cantidades suelen ser grandes se utiliza normalmente el kilojulio(kJ).

Otras unidades usuales son la caloría (cal), la kilocaloría(kcal) y el electrónvoltio (eV); y en el estudio de los recursos energéticos también se manejan otras como el kilovatiohora(kWh), la tonelada equivalente de petróleo (tep) y de carbón (tec) que se definen como el equivalente térmico de una tonelada de petróleo o de carbón respectivamente. Las equivalencias entre ellas aparecen en la siguiente tabla:

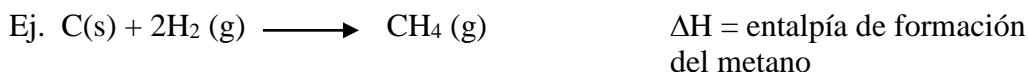
	kJ	cal	kcal	eV	kWh	tep	tec
JULIOS	1000	4,18	4180	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-11}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$

Si se tiene en cuenta que para interpretar un proceso químico no hablamos de entidades aisladas sino que utilizamos la magnitud cantidad de sustancia (mol), generalmente hablaremos de energía por mol. Así la entalpía de enlace será la energía necesaria para romper un mol de enlaces de ese tipo (por ello la unidad más utilizada es el kJ/mol)

Estos aspectos termodinámicos son aplicables a cualquier proceso no sólo químico sino también físico, siempre a presión constante. Así:

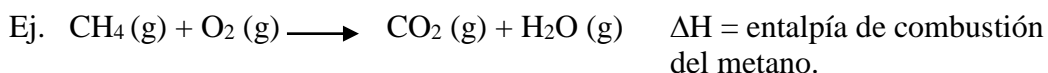
"Entalpía de formación de un compuesto"

Podemos conocer la energía asociada a la formación de un compuesto a partir de sus elementos, estudiando la ruptura y formación de enlaces en la reacción y su entalpía asociada.



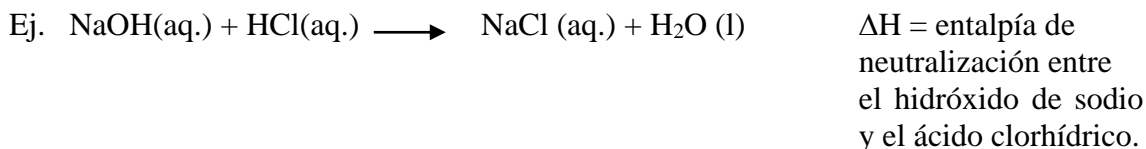
"Entalpía de combustión"

Será la asociada a dicha reacción de combustión de un compuesto dado.



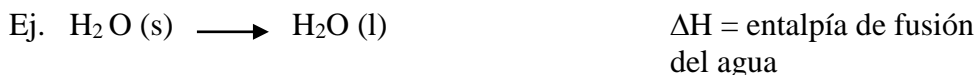
"Entalpía de neutralización"

Será la asociada a dicha reacción entre ácidos y bases para dar la sal correspondiente y agua.



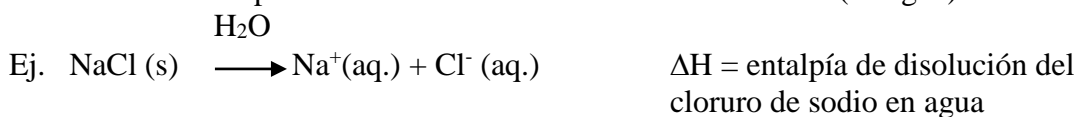
"Entalpía de fusión"

Será la asociada al proceso físico de fusión de una sustancia.



"Entalpía de disolución"

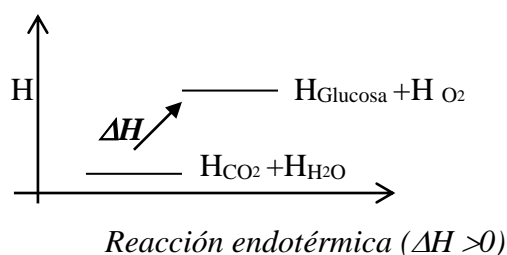
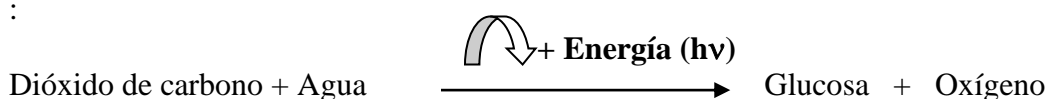
Será la asociada al proceso físico de disolución de una sustancia (en agua).



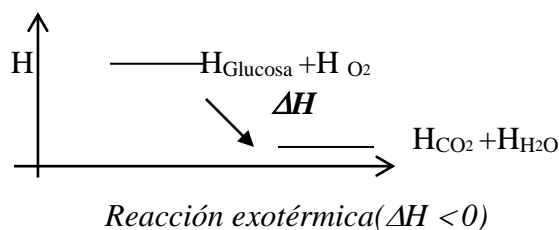
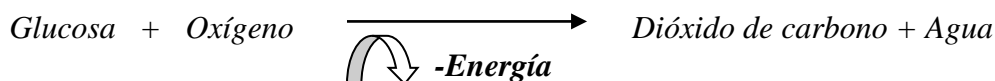
Como conclusión para nuestro estudio termodinámico de las reacciones de la biomasa podemos decir:

1. **La formación de compuestos (biomasa) en la fotosíntesis** son reacciones químicas endotérmicas ($\Delta H > 0$) donde el sistema recibe energía del exterior.
El balance energético entre los enlaces rotos y formados es positivo, es decir se ha necesitado más energía para romper enlaces en los reactivos que la que se ha desprendido al formarse enlaces nuevos en los productos.
Dicho de otra forma, la entalpía de las sustancias iniciales (como el dióxido de carbono y el agua) son menores en suma que las de los productos formados (biomasa y oxígeno). Esa diferencia de energía es la recibida del sol.

:



2. En ciertas **transformaciones de la biomasa** se puede obtener energía a partir de reacciones químicas como la combustión. En este caso el balance energético entre los enlaces rotos y formados es negativo ($\Delta H < 0$), es decir se ha necesitado menos energía para romper enlaces en los reactivos que la que se ha desprendido al formarse enlaces nuevos en los productos. Dicho de otra forma, la suma de las entalpías de las sustancias iniciales es mayor que la suma de las entalpías de los productos formados. Esa diferencia de energía es la que se desprende y podremos utilizar.



A lo largo de la unidad vamos a estudiar estos dos aspectos más en profundidad.

6.- ORIGEN DE LA BIOMASA:

6.1- LA FOTOSÍNTESIS

Toda la materia prima que vamos a utilizar como biomasa tiene en común provenir en última instancia de la energía solar que es transformada en energía química mediante el proceso de la fotosíntesis.

"La fotosíntesis es el proceso por el cual los organismos autótrofos transforman materia inorgánica en orgánica a partir de la energía luminosa"

En el caso de las plantas verdes, éstas poseen en las hojas y tallos unos orgánulos llamados cloroplastos que contienen unos pigmentos, clorofilas, que captan la luz solar. Esta permite que el dióxido de carbono, agua y sales minerales (que aportan nitrógeno, fósforo, potasio,...) se transformen en en distintos compuestos orgánicos (fundamentalmente glúcidos) de mayor energía que las sustancias iniciales, pudiendose representar de forma simple como:

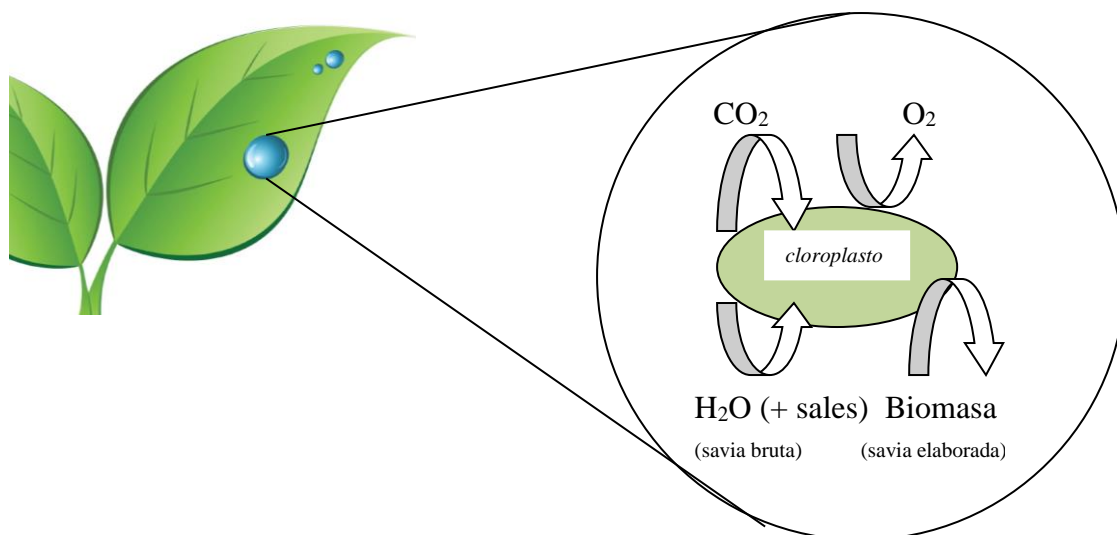
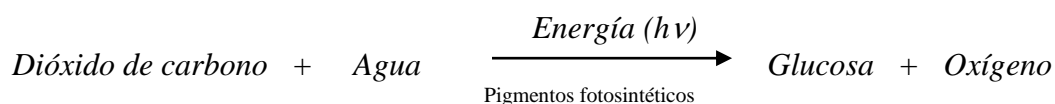


Figura 12: Esquema de la fotosíntesis en los cloroplastos de las hojas verdes

Teniendo en cuenta que:

- Durante el proceso se produce un intercambio de gases (se capta CO₂ y se desprende O₂) a través de los estomas.
- Los vegetales obtienen la energía que necesitan a partir de los compuestos que han sintetizado mediante la respiración celular, que al igual que en los animales tiene lugar en las mitocondrias.



* Esta energía desprendida cubrirá las necesidades vitales de la planta.

- La respiración celular se realiza todo el tiempo (noche y día) mientras la fotosíntesis sólo cuando hay luz (aunque consta de dos fases la primera, la luminosa, que necesita luz y la segunda, la fase oscura o ciclo de Calvin, que progresa sin necesitarla).
- Además de la clorofila existen otros pigmentos fotosintéticos, por ej. xantofilas y carotenos.
- No todas las células de una planta realizan la fotosíntesis (ej. células de las raíces)
- Existen algunos organismos autótrofos llamados no fotosintéticos que no utilizan la energía del sol para transformar la materia inorgánica en orgánica, sino que la obtienen de reacciones químicas exotérmicas, por lo que se llaman quimiosintéticos.

Existen una serie de factores o variables que influyen en el proceso fotosintético como son:

- Intensidad luminosa.
- Presión parcial de dióxido de carbono.
- Temperatura.
- Disponibilidad de agua.
- Pigmentos fotosintéticos de los distintos vegetales.
- N° de estomas por unidad de superficie.

La glucosa y sus derivados

Como hemos visto uno de los compuestos que se obtiene en la fotosíntesis es la glucosa, un polihidroxialdehído (con varias funciones hidroxilo y una aldehído). En las plantas, al encontrarse en medio acuoso, la estructura es la representada en la figura 3, que se denomina ciclada, para diferenciarla de la estructura lineal (en ausencia de agua), figura 4.

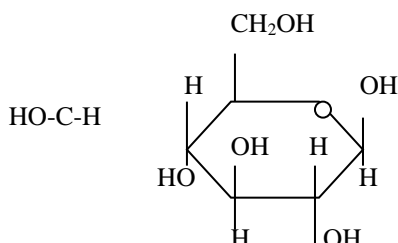


Fig 3

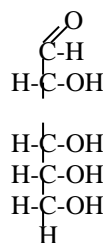
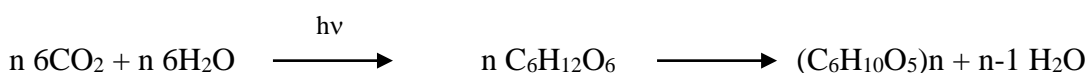


Fig 4

Una vez formada la glucosa se pueden sintetizar otros glúcidos:

- A) Unión de dos glucosas: Se produce un disacárido llamado maltosa (azúcar de la malta)
- B) Unión de muchas glucosas: Se obtienen polímeros de condensación, liberándose una molécula de agua en cada unión (por cada dos glucosas).

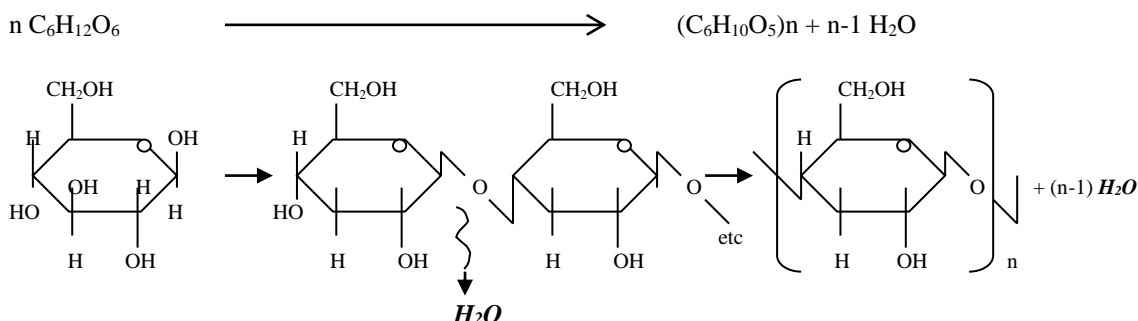
La ecuación ajustada para n moléculas sería:



Tenemos tres polímeros importantes de la glucosa:

- La celulosa: se encuentra en los vegetales y su función es estructural
- El almidón: se encuentra en los vegetales y su función es de reserva energética.
- El glucógeno: se encuentra en los animales y su función es de reserva energética

Estructuralmente difieren uno de otro tan sólo el n° de glucosas que se unen (longitud de la cadena), en los grupos hidroxilo de cada molécula que intervienen en la unión y en las ramificaciones de la cadena. Para la celulosa son uniones C1-C'4:



- C) Unión con otros azúcares: por ejemplo el azúcar que utilizamos es la mayoría de nuestros hogares es la sacarosa (azúcar de caña o de remolacha). Se forma por la unión de una glucosa y una fructosa.

6.2- ASPECTOS MATERIALES Y REPRESENTACIÓN DE LAS REACCIONES QUÍMICAS QUE TIENEN LUGAR EN LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis, como cualquier reacción química, requiere para su estudio considerar dos aspectos:

A) Aspectos cualitativos:

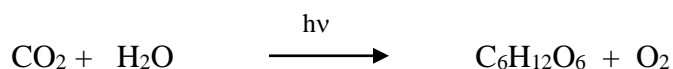
En toda reacción química podemos distinguir tres momentos: su iniciación, su progreso y su conclusión. Ésta tendrá lugar cuando se alcance el equilibrio o cuando se agote uno de los reactivos.

Las reacciones químicas se representan mediante ecuaciones químicas, en las que podemos identificar los tres momentos:



Las fórmulas de las sustancias iniciales llamadas *reactivos* se escriben a la izquierda de la flecha y las finales o *productos* a la derecha. La flecha indica el sentido de la reacción. Una doble flecha indicaría que la reacción es reversible, se puede dar en los dos sentidos.

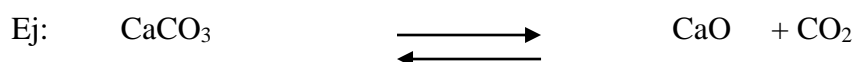
Ej: para la formación de glucosa:



Que podemos leer:

El dióxido de carbono y agua reaccionan para dar glucosa y oxígeno (en presencia de luz)

Si la reacción es reversible :



Que se leería:

(→) El carbonato de calcio se descompone originando óxido de calcio y dióxido de carbono.

(←) El óxido de calcio y el dióxido de carbono reaccionan para dar carbonato de calcio.

Además, otra información que deben incluir las ecuaciones es el estado físico de las sustancias que intervienen, se expresa entre paréntesis y con abreviaturas:

Sólido (s), líquido (l), gas (g) y en disolución acuosa (aq.).



B) Aspectos cuantitativos:

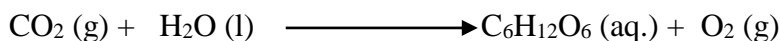
En las reacciones químicas se debe cumplir la **ley de Lavoisier** de conservación de la masa:

“ Durante una reacción química la masa ni se crea ni se destruye, solo se transforma .Así, la suma de las masas de los reactivos es igual a la suma de la masa de los productos de reacción”

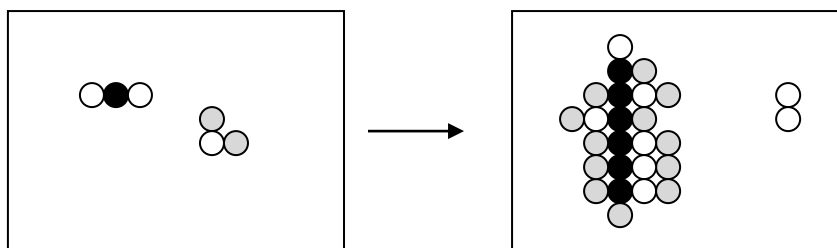
¿ Por qué se conserva la masa en las reacciones químicas?

Los átomos no son alterados en una reacción química, sólo se reorganizan de otra forma, se rompen unos enlaces y se forman otros. El nº de átomos de cada clase es el mismo antes y después de la reacción, por lo tanto la masa será la misma.

Si representásemos la ecuación como hasta ahora, de forma cualitativa, tendríamos:



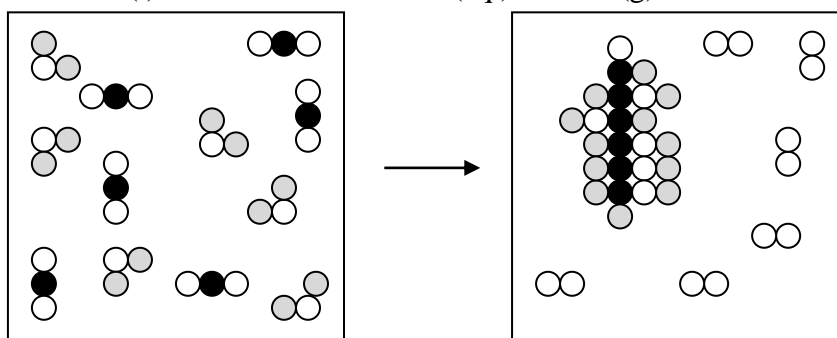
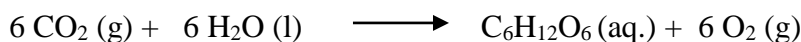
Si representamos un átomo de C como ● de oxígeno ○ y de hidrógeno ○ (sin tener en cuenta el tamaño relativo de los átomos) :



Tendría antes de la reacción 1 átomo de C , 2 de H y 3 de O, pero después de la reacción tendría 6 de C, 12 de H y 8 de O, no se estarían conservando el nº de átomos y por tanto la masa, y no representaría la realidad.

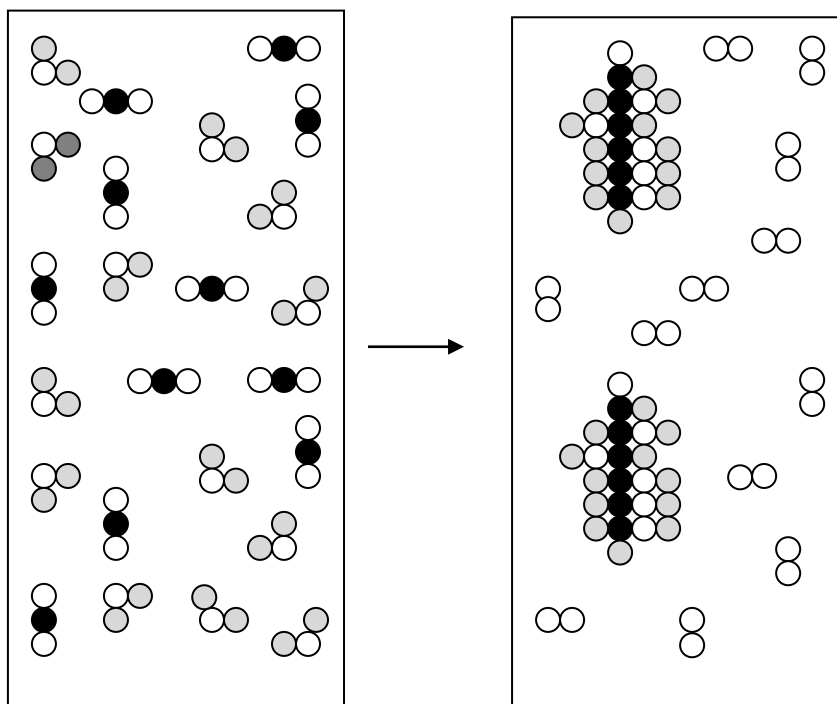
Para que esa ecuación tenga significado y pueda ser utilizada con fines cuantitativos, tenemos que ajustarla con unos nº que se ponen delante de cada sustancia y que se llaman coeficientes estequiométricos. Éstos nos permiten igualar el nº de átomos de cada clase para que antes y después de la reacción sean los mismos, es decir, se conserven

Así para nuestro ejemplo:

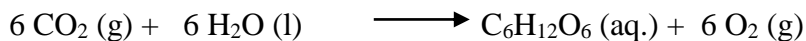


La reacción química representada por la ecuación nos indica el nº mínimo de entidades que cada tipo que intervienen, así las cantidades pueden ser:

	CO₂	H₂O	C₆H₁₂O₆	O₂
Nº de moléculas	6	6	1	6
Nº de moléculas	12	12	2	12
Nº de moléculas	24	24	3	24



Los coeficientes pueden representar entidades (átomos, moléculas o iones) o moles. Así:

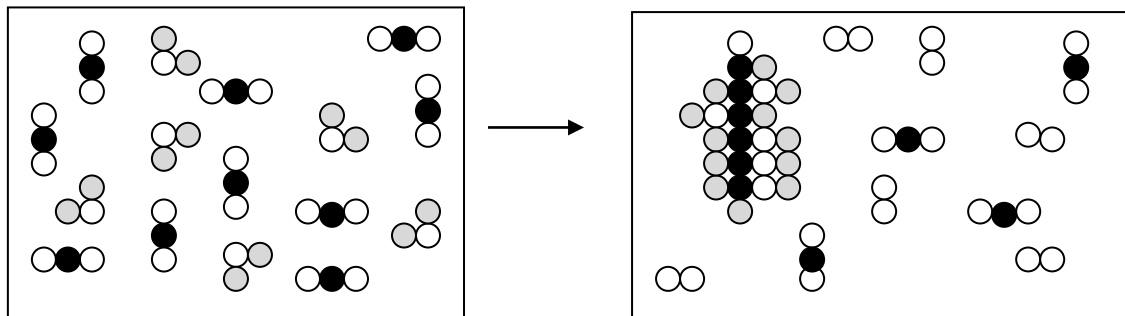
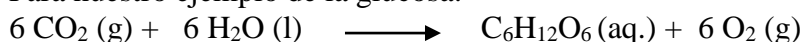


	CO₂	H₂O	C₆H₁₂O₆	O₂
moléculas	6	6	1	6
moles	6	6	1	6
Nº de moléculas en esos moles	$6 \times 6,02 \cdot 10^{23}$	$6 \times 6,02 \cdot 10^{23}$	$1 \times 6,02 \cdot 10^{23}$	$6 \times 6,02 \cdot 10^{23}$
Gramos (a partir de la masa molar)	$6 \times M_{\text{CO}_2}$ (264g)	$6 \times M_{\text{H}_2\text{O}}$ (108g)	$1 \times M_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}$ (180g)	$6 \times M_{\text{O}_2}$ (192g)
Volumen en condiciones normales (sólo gases)	$6 \times 22,4 \text{ l}$	—	—	$6 \times 22,4 \text{ l}$
Volumen en otras condiciones (gases)	$V = 6 \text{ RT/P}$	—	—	$V = 6 \text{ RT/P}$

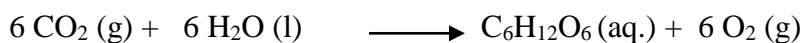
Reactivo limitante y reactivo en exceso:

Como hemos visto, una de las causas de que una reacción química finalice es que se agote uno de sus reactivos, que se denomina reactivo limitante y que tendremos en cuenta en los cálculos numéricos. Así, a el/los otro/s reactivo/s que sobran y acompañan a los productos se les llama reactivos en exceso.

Para nuestro ejemplo de la glucosa:



Como vemos, en la reacción representada, el reactivo limitante es el agua (se agota primero y en ese momento cesa la reacción). El dióxido de carbono que no ha reaccionado quedará entre los productos de la reacción, pero su ecuación sigue siendo la misma:



En vez de decir que partimos de cantidades estequiométricas de los reactivos, decimos que partimos de un exceso de CO_2 .

Cálculos estequiométricos:

Tras conocer cómo escribir e interpretar las ecuaciones químicas debemos reflexionar sobre la importancia de su significado en la química moderna. Toda ciencia busca en cierta medida la cuantificación de hechos o fenómenos. La ciencia no estudia cualidades de los cuerpos que no sean medibles, cuantificables, como la belleza o la bondad. La medida es la base de los estudios científicos. De hecho Lavoisier es considerado el padre de la química moderna por ser el primero en introducir la medida escrupulosa de las masas en sus estudios. Desde entonces hasta nuestros días la importancia de la medida en la Química es clara.

Es muy importante tener presente además del significado químico el significado matemático de las ecuaciones químicas. Hemos visto que los coeficientes representan las proporciones en que las sustancias intervienen en las reacciones químicas, por tanto podremos calcular cantidades desconocidas de reactivos o productos a partir de otras conocidas de alguno de ellos. Estos cálculos se denominan *cálculos estequiométricos*.

6.3.- RENDIMIENTO MATERIAL Y ENERGÉTICO DE UNA REACCIÓN

6.3.1. Rendimiento material de la reacción y pureza de reactivos:

Dos conceptos a tener en cuenta en toda reacción química son: su rendimiento y la riqueza o pureza de los reactivos.

- En una reacción química pueden darse procesos que no nos interesan en ese momento. La obtención del producto deseado es menor. El rendimiento de una reacción química es el cociente entre la cantidad real obtenida y la cantidad teórica que debería obtenerse si el rendimiento fuese del 100%. Si lo expresamos en % se multiplica por 100:

$$R = \frac{\text{cantidad real}}{\text{cantidad teórica}} \times 100$$

Por ejemplo, si lo que me interesa es obtener glucosa en la reacción de fotosíntesis y obtengo el 60% de glucosa, el 30% de fructosa y el 10% de mezcla de otros compuestos se dice que el rendimiento de la reacción es del 60%.

Si en el mismo caso me interesase la obtención de fructosa el rendimiento de la reacción deseada sería del 30%.

- Además, los reactivos en una reacción química pueden no ser puros, por lo que habrá que definir su pureza o riqueza $r(\%)$, que expresa la cantidad de reactivo real contenido en una cantidad de muestra (generalmente se expresa en masa) :

$$r(\%) = \frac{\text{cantidad reactivo puro}}{\text{cantidad inicial de muestra}} \times 100$$

Entonces la cantidad de reactivo real o puro de que partimos es:

$$\text{Cantidad reactivo inicial (real)} = \text{cantidad inicial} \times \frac{r(\%)}{100}$$

Por ejemplo si voy a quemar 200g de etanol al 96% eso indica que los gramos iniciales de etanol son realmente $200\text{g} \times 96/100 = 196\text{g}$

Si necesitase partir de 200g de etanol puro me tendría que llevar más de etanol al 96%, exactamente: $200\text{g} \times 100/96 = 208,33\text{g}$. Esto es, en 208,33g de etanol al 96% hay realmente 200g de etanol puro.

6.3.2-Rendimiento energético del proceso fotosintético: Conservación y degradación de la energía.

Al igual que hemos estudiado y aplicado el principio universal de la conservación de la masa existe un principio equivalente para la energía:

“La Energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma de un tipo en otro”.

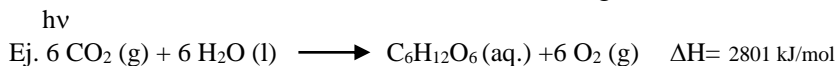
Hay distintos tipos de energía: química, eléctrica, mecánica, térmica, etc., pero la energía total del universo se conserva. La energía puede pasar de unos cuerpos a otros (la energía se transfiere). Las transferencias energéticas pueden ocurrir de dos maneras:

- Que antes y después de la transferencia el tipo de energía sea el mismo. Por ejemplo el agua de una cascada cayendo transfiere su energía mecánica a la rueda de la turbina, que al moverse adquiere energía mecánica.
- Que al transferirse se modifique el tipo de energía. En este caso se habla de transformación de la energía. Por ejemplo la energía radiante del sol en energía química de la biomasa.

De cualquier manera la energía total del sistema se conserva. Si analizamos el proceso de la fotosíntesis, la energía solar transformada en energía química es inferior al 10% ya que se producen “pérdidas” en el proceso. ¿Es esto una contradicción?. Lo que llamamos pérdidas ¿lo son en realidad?.

No, el principio universal de conservación se cumple en la fotosíntesis como en cualquier proceso. Lo que ocurre es que pueden existir transferencias de energía que no nos interesen. Estos procesos disminuyen el rendimiento energético del proceso que nos interesa, como pasaba con el rendimiento material, pero la energía total de todos los procesos implicados será la misma. ¿Qué procesos pueden estar sucediendo a la vez que el nuestro y que compitan con él? Entre otros:

1. Procesos de transferencia de energía sin transformación:
 - Parte de la luz que llega a la hoja es reflejada
 - Parte de la luz incidente no tiene la longitud de onda (o la frecuencia) adecuada para excitar los pigmentos fotosintéticos.
2. Procesos de transferencia con transformación del tipo de energía:
 - Transformación de energía radiante en energía química



- Transformación de energía radiante en energía calorífica (la hoja se calienta)

Por tanto, lo que se consideran pérdidas no lo son en realidad. Nos referimos a la efectividad de la transferencia (rendimiento energético) y no a una destrucción o desaparición de energía. Si el sistema estuviera aislado la suma de todas las energías implicadas sería igual a la inicial.

De forma semejante al rendimiento material el rendimiento energético será:

$$R = \frac{\text{cantidad real}}{\text{cantidad teórica}} \times 100$$

En las transformaciones energéticas, la energía cambia de una forma en otra hasta que una de ellas es poco útil para el sistema (calor), por eso se entiende como una degradación de la energía. En toda transferencia y transformación la energía se conserva, pero pierde calidad, se degrada, al transformarse finalmente en energía térmica. Esto ocurre en cualquier proceso.

“La energía en sus transferencias y transformaciones se conserva, pero pierde calidad, se degrada, al transformarse finalmente en energía térmica”

Las siguientes imágenes ejemplifican este proceso de degradación en los sistemas vivos, (en ellas se representa el calor como Q):

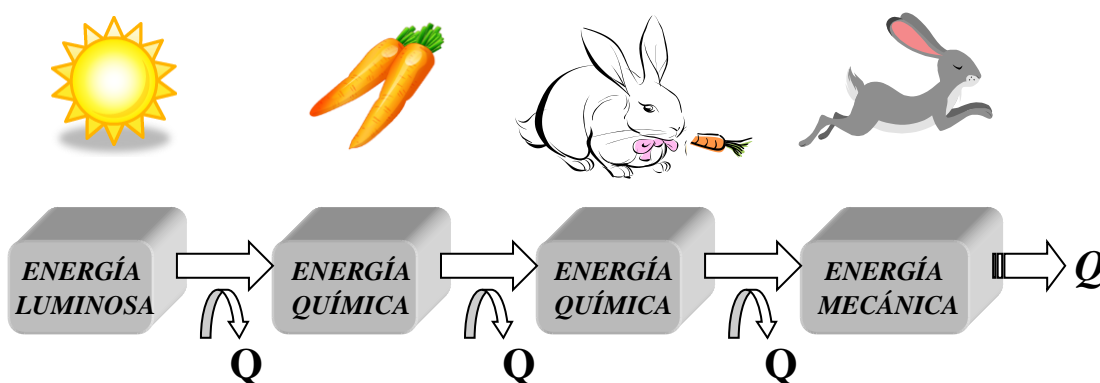


Figura 13: Ejemplo de transformación y degradación de la energía en los seres vivos

Combinando las pérdidas energéticas con las del rendimiento en las reacciones tenemos que el rendimiento energético de la fotosíntesis será aproximadamente:

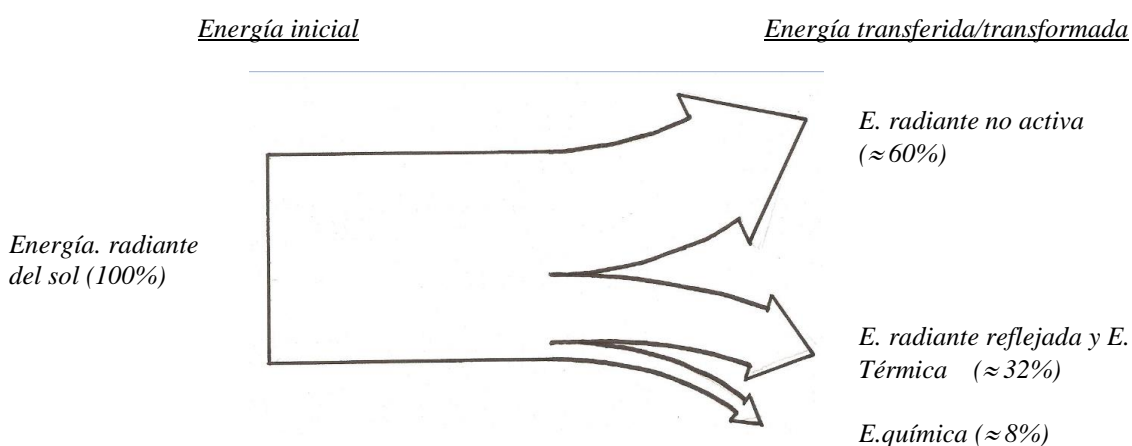


Figura 14: Porcentaje de cada tipo de energía en un el proceso fotosintético

Parte de esta energía química es utilizada por la propia planta para su mantenimiento, obteniendo energía mediante la respiración celular. Así, finalmente, la energía química total no supera el 5%.

7.-TRANSFORMACIONES DE LA BIOMASA PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA:

La mayor parte de esta biomasa susceptible de ser utilizada con fines energéticos tiene un alto contenido en humedad, una densidad baja y un poder calorífico pequeño, por lo que su utilización directa como combustible no es óptima. Para conseguir combustibles de mayor densidad energética (y física) necesitamos realizar transformaciones previas. Estos procesos pueden ser físicos (sin modificación de la composición química) o químicos (transformándose en otras sustancias distintas a las iniciales). Así:

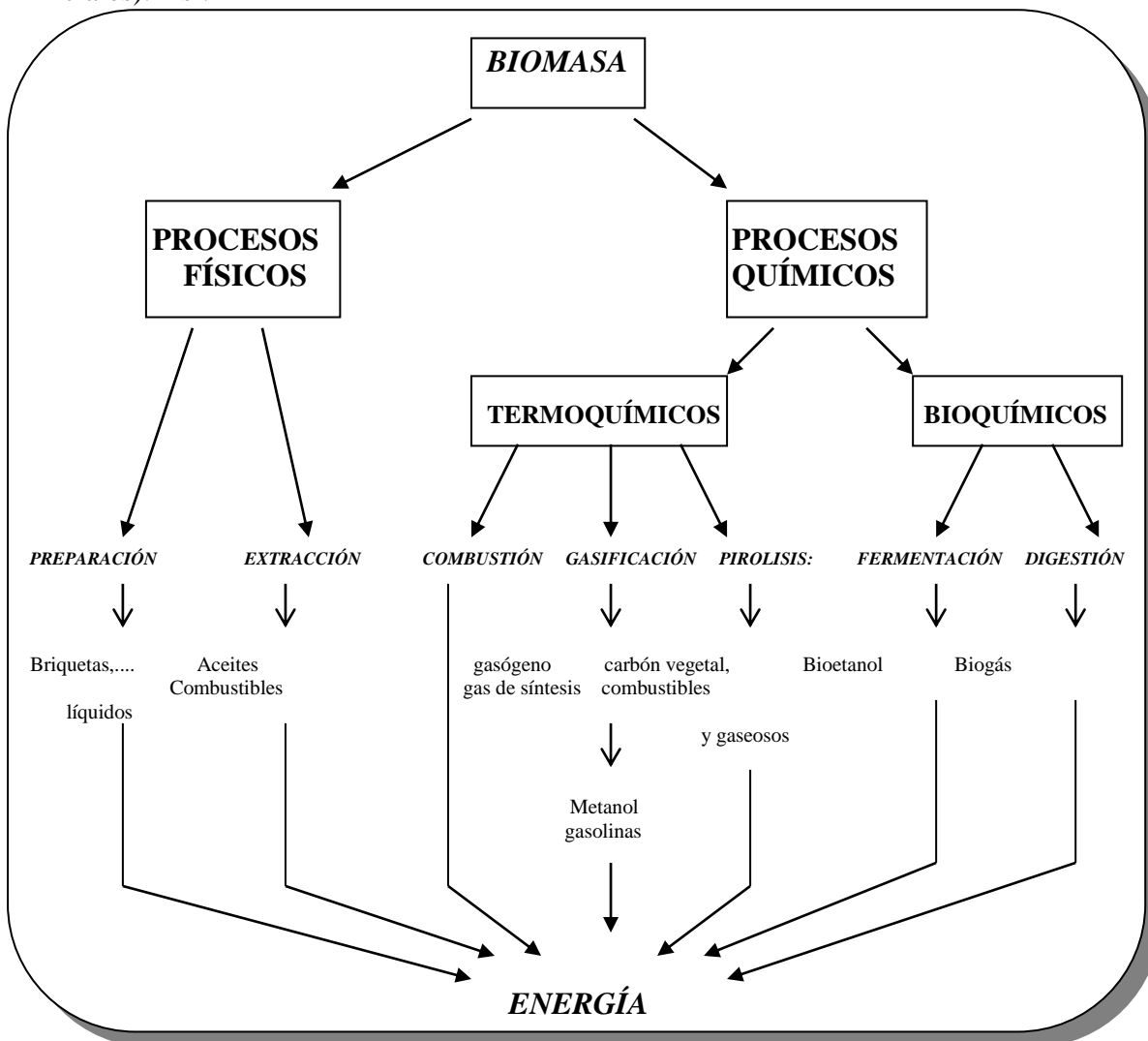


Figura 15: Transformaciones de la Biomasa

La utilización de un método u otro depende de la naturaleza de la biomasa. Los materiales idóneos en cada caso son:

1. Para extracción directa: Especies vegetales productoras de hidrocarburos: maíz, semillas girasol, etc.
2. Para procesos termoquímicos: Los de bajo contenido en humedad (biomasa seca) y alto en lignocelulosa: madera, paja, cáscaras, etc.
3. Para procesos bioquímicos: Los de alto contenido en humedad (biomasa húmeda) y con composición azucarada, amilacea (almidón) o celulósica; residuos agrícolas, ganaderos, industriales y urbanos, lodos, plantas acuáticas, etc.

7.1: PROCESOS FÍSICOS:

7.1.1.Preparación:

Para facilitar su traslado, uso y almacenamiento la biomasa se suele homogeneizar (astillar, triturar, moler, secar,...) y compactar, tras o que se almacena para su distribución.

7.1.2.Extracción:

Como hemos indicado el material idóneo son aquellas especies vegetales que producen hidrocarburos o compuestos muy hidrogenados (ej. girasol, maíz, ...)

Tras una preparación mecánica (que incluye triturado, secado,...) se extraen utilizando disolventes adecuados diversos aceites. Al ser el aceite un producto de naturaleza apolar los disolventes adecuados para la extracción serán de este tipo (hexano, benceno, tolueno, diclorometano,...). Dentro de la molécula de disolvente hay una parte polar, por lo que en algún caso se puede utilizar disolventes polares como la acetona.

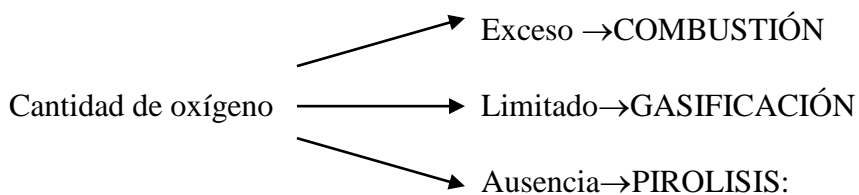
El aceite obtenido tiene propiedades parecidas a los crudos, y está compuesto por hidrocarburos de unos 30 átomos de C (terpenos). Son los combustibles llamados biodiesel. Queda un residuo rico en proteínas e hidratos de carbono se puede usar para la producción de etanol por fermentación.

7.2.PROCESOS QUÍMICOS:

7.2.1.Procesos termoquímicos:

Son procesos tanto de obtención de energía tanto directamente (combustión) como obteniendo otros productos por gasificación y Pirolisis:, que posteriormente tendrán el mismo fin.

Los tres métodos se diferencian principalmente es la cantidad de oxígeno presente durante la transformación, que determina que se produzca un proceso u otro.

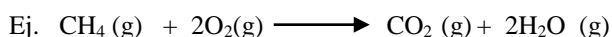
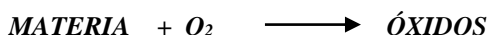


Los materiales idóneos son los de bajo contenido en humedad y alto contenido en lignocelulosa: madera, paja, cáscaras, etc.

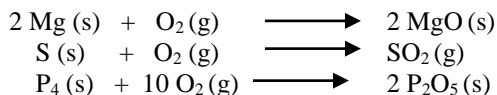
A) Combustión:

La forma más fácil y directa de utilización de la biomasa como fuente energética es la que se lleva utilizando desde el comienzo de la humanidad. Mediante la combustión.

Una combustión es una reacción química rápida de oxidación en la que, mediante la ruptura de unos enlaces y la formación de otros, se obtienen los óxidos de cada uno de los elementos químicos presentes en la sustancia combustible y en el proceso se desprende calor (y en ocasiones luz).



No siempre se tiene que producir CO_2 y H_2O . Solamente cuando en su estructura exista carbono e hidrógeno. Por ejemplo si arde una cinta de magnesio, azufre o fósforo rojo tendremos:



En las reacciones de combustión de la biomasa al partir de compuestos orgánicos cuya base es el carbono, oxígeno e hidrógeno sí se producirá dióxido de carbono y agua (si la combustión es completa, sino puede producirse monóxido de carbono altamente tóxico por inhalación, hasta producir la muerte).

Entonces ¿ Qué compuestos obtendré al quemar una proteína, si en su estructura existe C, H, O, y N? Pues óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 ,...), de C (en general CO_2) y de H (H_2O)

Las reacciones de combustión son **exotérmicas**, esto es, desprenden energía en forma de calor. Podemos usar esta energía directamente (como tradicionalmente se viene haciendo en estufas, chimeneas, barbacoas,...) o transformarla en energía eléctrica en una central térmica (como veremos más adelante).

Si estudiamos la entalpía de cada reacción, podemos saber cuánta energía podemos obtener quemando ese compuesto.

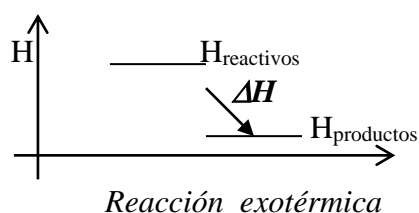
Al igual que en cualquier reacción:

$$\Delta H = \sum H_{\text{productos}} - \sum H_{\text{reactivos}}$$

En las combustiones siempre:

$$H (\text{productos}) < H (\text{reactivos}) \Rightarrow \Delta H < 0 \Rightarrow \text{La reacción es } \textbf{exotérmica}$$

Su diagrama de entalpías correspondería con:



Cuando el combustible es de origen orgánico animal o vegetal, nos estamos refiriendo a reacciones de combustión de la biomasa y por tanto a su utilización como fuente de energía. El contenido energético de cada tipo de biomasa viene dado por unas tablas promedio del poder calorífico de cada uno.

El poder calorífico de una sustancia es el calor asociado a la reacción de combustión dado por unidad de masa (en vez de por mol). Así estudiamos la cantidad de energía desprendida al quemarse un kilogramo (o un gramo) de un combustible determinado.

COMBUSTIBLE	PC (kJ/kg)	PC (kcal/kg)	COMBUSTIBLE	PC (kJ/kg)	PC (kcal/kg)
Carbón	33.000	7.900	Glucosa	15.560	3.735
Fuél	44.000	10.500	Pan	11.000	2.640
Gasolina	46.000	11.000	Manzana	2.000	480
Gasóleo	38.000	9.100	Azúcar de caña	16.720	4.000
Queroseno	29.000	7.000	Garbanzos	15.050	3.600
Gas natural	42.000	10.000	Aceite	36.950	8.840
Metano	55.700	13.400	Carne	8.000	1.914
Propano	50.000	12.000	Cerveza	1.300	310
Butano	49.000	11.700	Coca-cola	1.880	450
Hidrógeno	142.000	34.000	Queso	18.000	4.300
Hulla asturiana	31.600	7.550	Huevos	6.000	1.435
Metanol	21.200	5.300	Leche	2.720	650
Etanol	28.000	6.700	Patatas	3.500	850
Cera	21.500	9.000	Lechuga	670	160
Madera	20.000	4.800	Miel	12.540	3.000
Celulosa	10.000	4.200	Mantequilla	34.000	8.130

Tabla 1. Comparación de los poderes caloríficos "aproximados" de algunas sustancias
(al ser energía desprendida todos los valores serán **negativos**)

Aspectos cinéticos de la reacción de combustión:

Como en todas las reacciones químicas la velocidad de la reacción depende de varios factores, cuya modificación puede acelerar o retrasar el avance de una reacción química en el tiempo. Los factores a estudiar en este sentido son:

- Naturaleza de los reactivos
- Facilidad de los reactivos de entrar en contacto.
- Concentración de los reactivos
- Temperatura
- Presión
- Presencia de catalizadores.

Para cada reacción habrá que estudiar cómo afecta cada uno (o si no afecta su modificación)

B) Gasificación:

Se produce una combustión incompleta de la biomasa por falta de oxígeno. Se obtienen mezclas de CO, H₂ y CH₄ entre otros gases. Los dos factores que influyen más directamente en las proporciones de éstos son:

- El grado de humedad de la materia prima utilizada (favorece la formación de hidrógeno y metano, para controlar ésta se utiliza biomasa seca y se inyecta la corriente de vapor de agua necesaria).
- Del comburente (en presencia de aire se obtiene gasógeno o gas pobre, por su alto contenido en nitrógeno, y en presencia de oxígeno se obtiene el llamado gas de síntesis).

Así se obtienen dos tipos de mezclas:

- Gasógeno o gas pobre (principalmente CO, H₂ y N₂). Se denomina así por su bajo poder calorífico debido a su alto contenido en nitrógeno (50% del volumen final). Se suele utilizar para quemar en las mismas instalaciones.
- Gas de síntesis (principalmente CO y H₂). Su poder calorífico es elevado, muy parecido al de otros combustibles gaseosos convencionales como gas natural, propano, butano,...por lo que es muy apreciado. Además, la mezcla es una importante materia prima en la síntesis orgánica siendo de especial interés su transformación en metanol y gasolinas, cuya demanda es muy superior a la de los combustibles gaseosos. Las gasolinas obtenidas tienen bajo índice de octanos (poder antidetonante de las gasolinas) y por tanto para su uso directo en los motores de explosión necesita ir mezclado con otros.

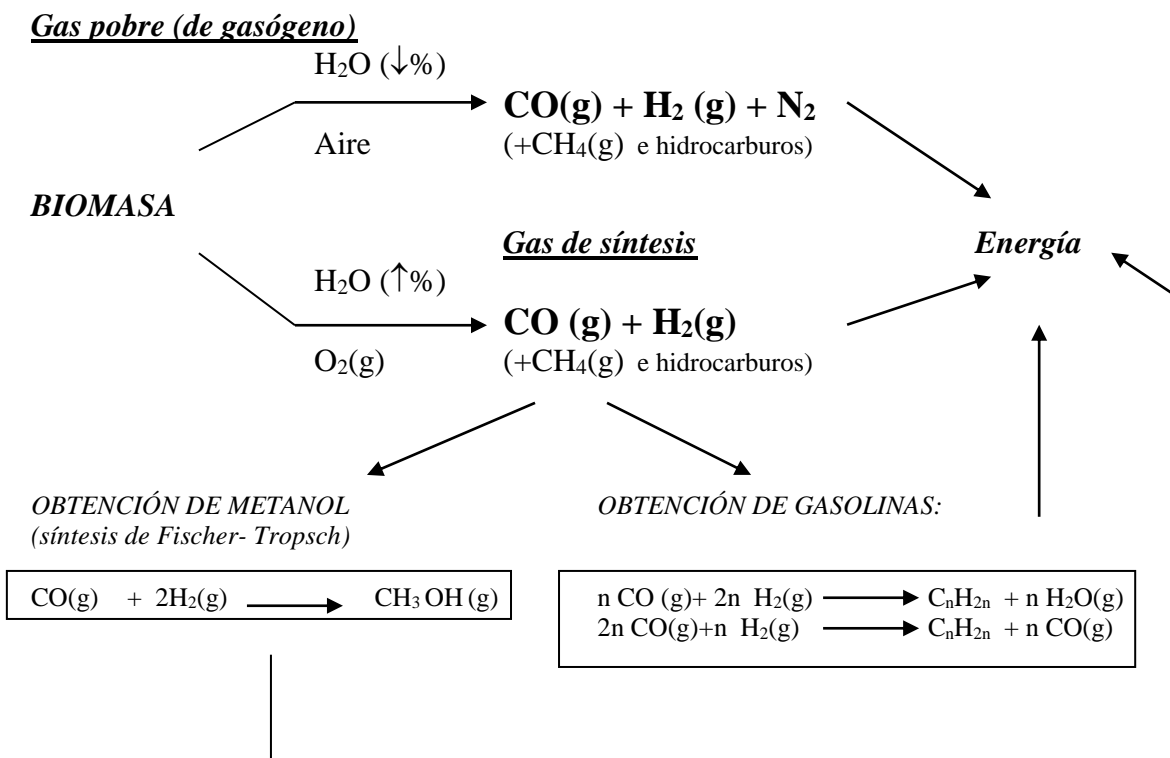


Figura 16: Esquema de obtención del gasógeno a partir de biomasa.

La composición media de estas mezclas de gases y su poder calorífico se reflejan en la siguiente tabla:

	%CO	%CO ₂	%H ₂	% CH ₄ e hidrocarburos	%N ₂	Poder calorífico (kJ/m ³)
Gasógeno	11-30	6-16	10-20	1-15	50	3,4-5,4· 10 ³
Gas de síntesis	40-50	10-20	25-30	4-8	—	5,0-10,9·10 ³

Tabla 2. Características de los gases obtenidos por gasificación

C) Pirolisis:

Consiste en la descomposición de materia orgánica por acción del calor en ausencia de oxígeno. La energía necesaria es aportada por el propio material.

Se producen mezclas de productos sólidos (carbón vegetal, alquitranes y cenizas), líquidos (gasolinas) y gaseosos(gases de síntesis). Todos ellos son aprovechables energéticamente. Se realiza entre 250 y 600°C.

Producto	Composición	Poder calorífico
<i>Gas</i>	$H_2 + CO + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4$ *	$3,8-15,9 \cdot 10^3$ kJ/m ³
<i>Líquido</i>	Hidrocarburos complejos, sobre todo oxigenados (alcoholes)	$25,1 \cdot 10^3$ kJ/m ³
<i>Residuo sólido</i>	Carbones (coke) y alquitranes, y cenizas	$20,9 \cdot 10^3$ kJ/m ³

Tabla 3. Composición de los productos obtenidos en el proceso de pirolisis *El % de metano depende de la humedad, la proporción entre ellos y de la temperatura.

Por cada tonelada seca se obtiene 225 kg de líquidos y 75 de coke.

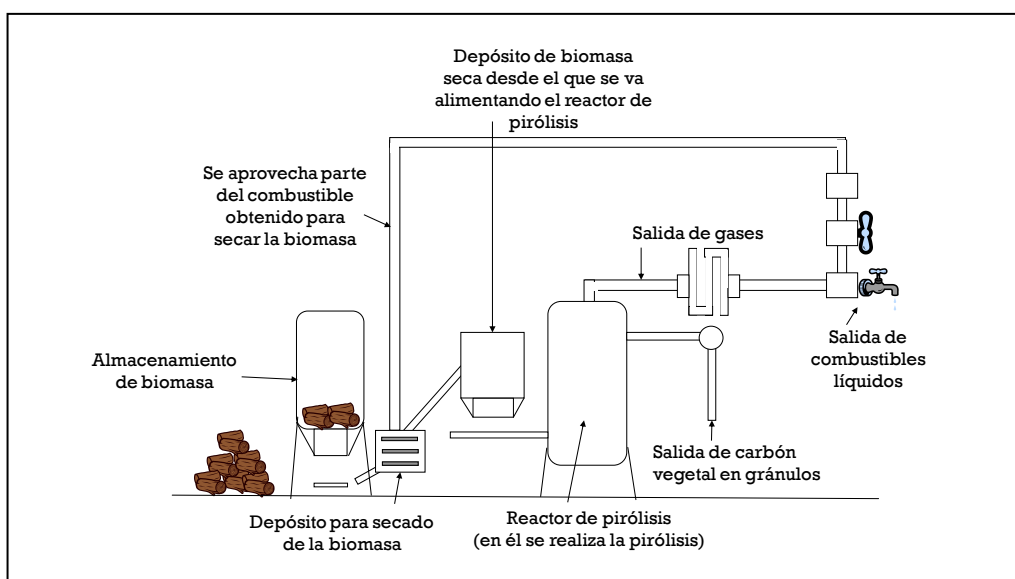


Figura 17. Esquema del proceso de pirolisis (A partir de Delgado et al.1999))

7.2.2. Procesos bioquímicos:

Se llevan a cabo por microorganismos (existentes o añadidos) que transforman moléculas orgánicas complejas en otras más simples y de mayor poder calorífico.

La materia prima idónea es una biomasa de alto contenido en humedad (que en procesos termoquímicos daría mal rendimiento)

Los procesos pueden ser de dos tipos:

- A) Fermentación alcohólica: se obtiene etanol
- B) Digestión anaerobia: se obtiene biogás.

A) Fermentación alcohólica:

La materia prima es una biomasa de alto contenido en azúcares, almidón o celulosa como los cereales, la caña de azúcar o la remolacha azucarera.

TIPOS DE BIOMASA		EJEMPLOS
Azucaradas		Mostos y jugos de frutas, remolacha, caña de azúcar, algarroba, mandioca,....
Amiláceas	Cereales	Maíz, cebada, malta, trigo, avena, centeno, arroz, ...
	Tubérculos	Patata, boniato, ...
	Otros	Raíz de girasol
Celulósicas		Madera, residuos del maíz, residuos de la paja de trigo, bagazo de caña de azúcar, líquidos residuales del papel, pulpa de remolacha,...

Tabla 4. Tipos de biomasa fermentable a etanol

Las etapas del proceso son las siguientes:

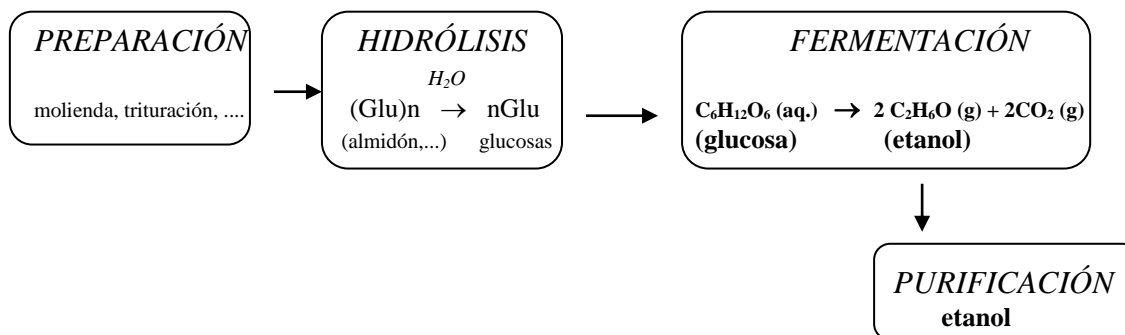


Figura 18: Esquema de fermentación alcohólica (a partir de Jarabo, 1999)

La hidrólisis del almidón, celulosa, ... para obtener glucosas como materia fermentable puede ser **Enzimática**, mediante enzimas procedentes de familias de aspergillus, bacillus o penicillium., o **Química**, en medio ácido (**HCl o H₂SO₄**, **hidrólisis ácida**) o en medio básico (**NaOH o KOH**, **hidrólisis alcalina**)

Por cada 100kg de glucosa se obtienen 51,1 kg de etanol y 48,9 kg de CO₂ (realmente es un 5% menor en ambos pues esta parte es nutriente de los diversos microorganismos)

El bioetanol como combustible:

El etanol ya se usaba como combustible en el siglo XIX para alumbrado, calefacción y preparación de alimentos. Hoy en día se sigue usando directamente con este fin en ciertos mecheros, en las fundies o mezclado con la gasolina como combustible de vehículos, siendo este uso el principal.

En Brasil, país productor de caña de azúcar, se usa esta mezcla en los automóviles (sin necesidad de ninguna transformación del motor). La alternativa surgió por una disminución de las exportaciones de azúcar apareciendo entonces la necesidad de dar salida al excedente de producción. El resultado fue satisfactorio económica y medioambientalmente por lo que continúa en la actualidad.

PROPIEDAD	GASOLINA	ETANOL
Fórmula	$C_5 - C_{12}$	C_2H_5O
Densidad (kg/l)	0,70 – 0,78	0,79
Solubilidad en agua a 20° C (ppm)	240	infinita
Punto de ebullición (°C)	88	infinita
Relación estequiométrica aire/combustible	25 – 225	78,3
Índice de octano	95	106
Máxima compresión admisible	15:1	9:1
Poder calorífico (MJ/kg):		
Inferior	44	26,7
Superior	47,1	29,8
Calor latente de vaporización (kJ/kg)	348,8	920,9

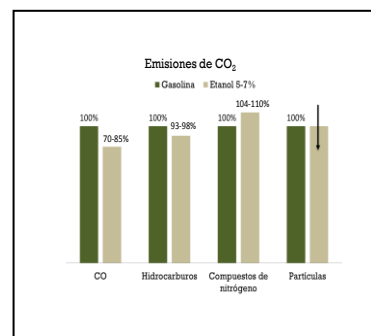


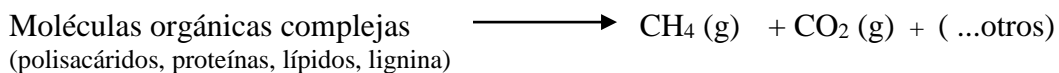
Figura 18. El etanol como combustible: Propiedades frente a las de la gasolina (tomado de Jarabo, 1999 y Delgado et al. 1999)

B) Digestión anaerobia:

Consiste en un proceso de fermentación realizado por microorganismos vivos pero en medio anaerobio, esto es, en ausencia de oxígeno (an= sin, aer= aire, bios= vida).

La materia prima que se utiliza son residuos agrícolas (con alto contenido en lignina), ganaderos, cultivos energéticos (algas, jacintos de agua), industriales (agroalimentarias), y residuos urbanos (RSU y lodos de depuradoras)

Se obtiene biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono) junto con materia sólida (lodo o fango), nitrógeno, fósforo y minerales. El biogás fue observado por primera vez en 1776 por Volta como gas de los pantanos.



El contenido medio de los gases que componen el biogás se recoge en la siguiente tabla:

	<i>CH₄</i>	<i>CO₂</i>	<i>H₂</i>	<i>N₂</i>	<i>O₂</i>	<i>SH₂</i>
Contenido medio (%)	50-70	30-50	1-10	<3	<0,1	trazas

Tabla 5. Composición media aproximada del biogás

Las proporciones de cada uno dependen de la materia prima inicial, así si nos fijamos en el biogás generado y en su contenido en metano tendremos valores muy diferentes según el tipo de residuo:

TIPO DE BIOMASA	<i>Lodos de depuradora</i>	<i>Residuos urbanos</i>	<i>Residuos cervenceros</i>	<i>Residuos de papeleras</i>	<i>Estiércol de vaca</i>	<i>Estiércol de caballo</i>	<i>Paja</i>	<i>Césped</i>
BIOGÁS GENERADO (<i>m³/kg</i>)	0,3	0,8	0,6	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
CONTENIDO EN CH₄ (%)	79	62	77	60	79	75	57	54

Tabla 6. Rendimiento en biogás y contenido en metano en función de la materia prima

Como vemos que la composición del gas varía según la materia prima que utilicemos, se suele utilizar como valores medios:

65% de CH₄, 30% de CO₂ y 5% de H₂ (y otros gases)

El proceso se lleva a cabo en unos aparatos llamados digestores. El biogás obtenido se depura posteriormente y se separa el metano del resto de los gases (pues es el que nos interesa energéticamente).

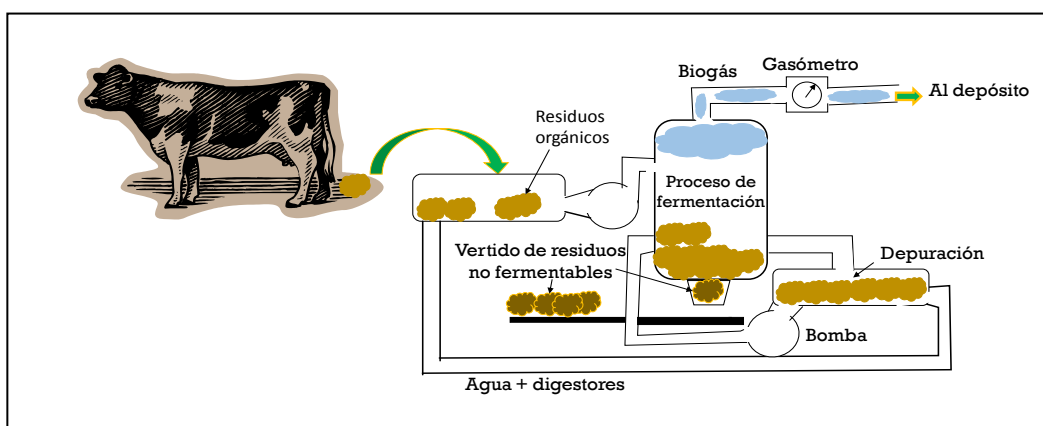


Figura 19. Esquema del proceso de digestión (A partir de Asensi Marqués et al., 1998)

El proceso tiene lugar actualmente en dos tipos de plantas:

- Plantas de obtención de biogás: Utilizan principalmente residuos de su propia fábrica (industrias de la cerveza, del azúcar, de la aceituna,...) para autoabastecimiento energético, o bien son plantas especiales cercanas a estas industrias que recogen residuos (por ejemplo en Andalucía hay plantas que reciclan el alpechín, residuo de la aceituna). También son muy utilizados los estiércoles procedentes de granjas y ganaderías.
- Plantas en depuradoras de agua o vertederos: La obtención de biogás es un objetivo secundario, lo que más interesa es eliminar del medioambiente residuos orgánicos y lodos (en depuradoras) o evitar que el biogás (generado en los vertederos de forma natural) se emita sin control al medio ambiente

Aplicaciones del biogás:

El biogás obtenido, o el metano si ha sido separado del resto de los gases, se utiliza como combustible, bien directamente en el sitio de producción (para realimentar energéticamente a esa industria o explotación) o bien se utiliza en central térmica para la producción de energía eléctrica, como veremos más adelante.

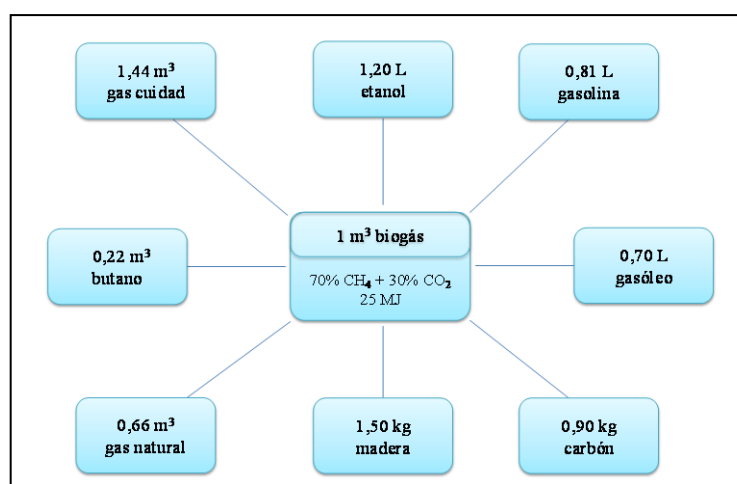


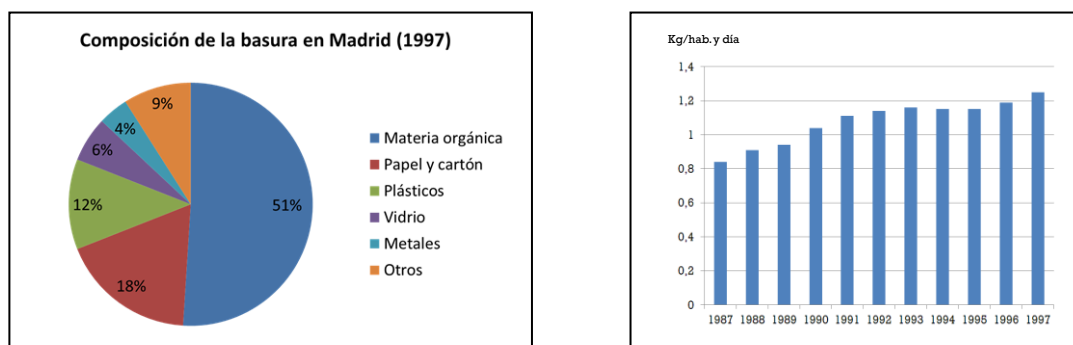
Figura 20. Comparación del poder calorífico del biogás con otros combustibles (equivalencia en cantidades de otros combustibles con un poder energético equivalente a 1m³ de biogás) (A partir de Jarabo, 1999)

Del cubo de basura al vertedero:

Cuando tiras una cáscara de plátano, los restos de una comida,... a la basura ¿nunca te has preguntado qué es de ellos? ¿Que pasa con tus basuras?

Hay muchas preguntas que nos podríamos hacer sobre nuestras basuras ¿Qué contiene tu basura a diario? y ¿hay algo reutilizable en lo desechable?

Echa un vistazo a los datos de tu comunidad y reflexiona sobre la proporción de residuos susceptibles de ser reciclados de alguna forma y del aumento en la producción de basuras en los últimos años:



Composición de la basura en Madrid (1997)

Producción por habitante y día.

Figura 21. Producción de basura y composición media en la ciudad de Madrid (A partir de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999)

Entre 1987 y 1997 **la población ha crecido tan sólo un 6%** y sin embargo observando la gráfica vemos que **la generación de residuos se ha incrementado en un 54,5%.**

¿Cuál es el destino de estas basuras? Si analizamos los datos, aproximadamente más del 90 % de la basura que producimos se puede reciclar. El papel, cartón, vidrio, metales, materia orgánica....

La materia orgánica que va a los vertederos tiene dos posibilidades de reutilización:

- Producción de biogás (fuente de energía) y a la vez de compost (residuo sólido fertilizante)
- Incineración para la producción de energía directamente.

El esquema de una incineradora es el siguiente:

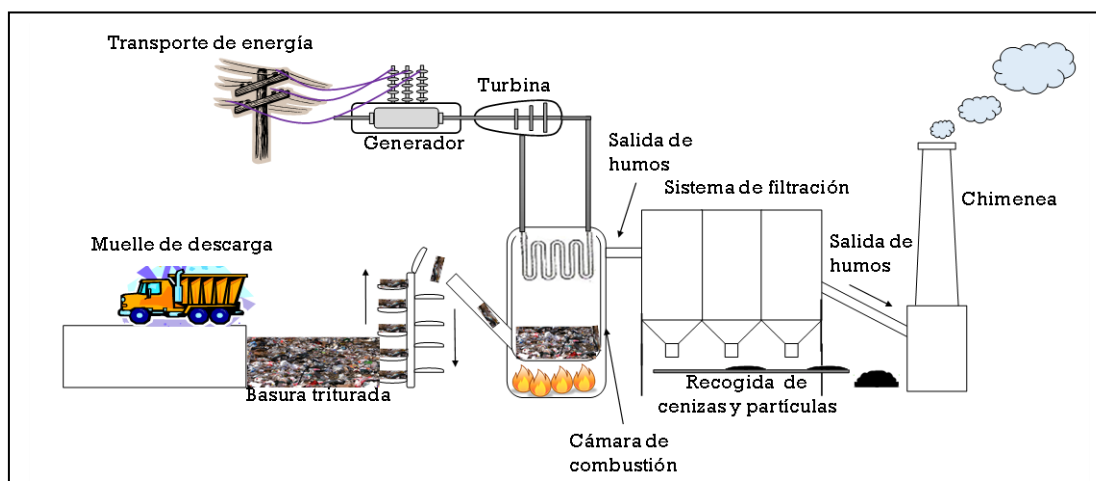


Figura 22. Esquema de una incineradora (A partir de Asensi Marqués et al., 1998)

8.-TRANSFORMACION DE LA BIOMASA EN ENERGÍA ELÉCTRICA:

La biomasa además de utilizarse como combustible directamente ser útil como combustible en las centrales térmicas para la obtención de energía.

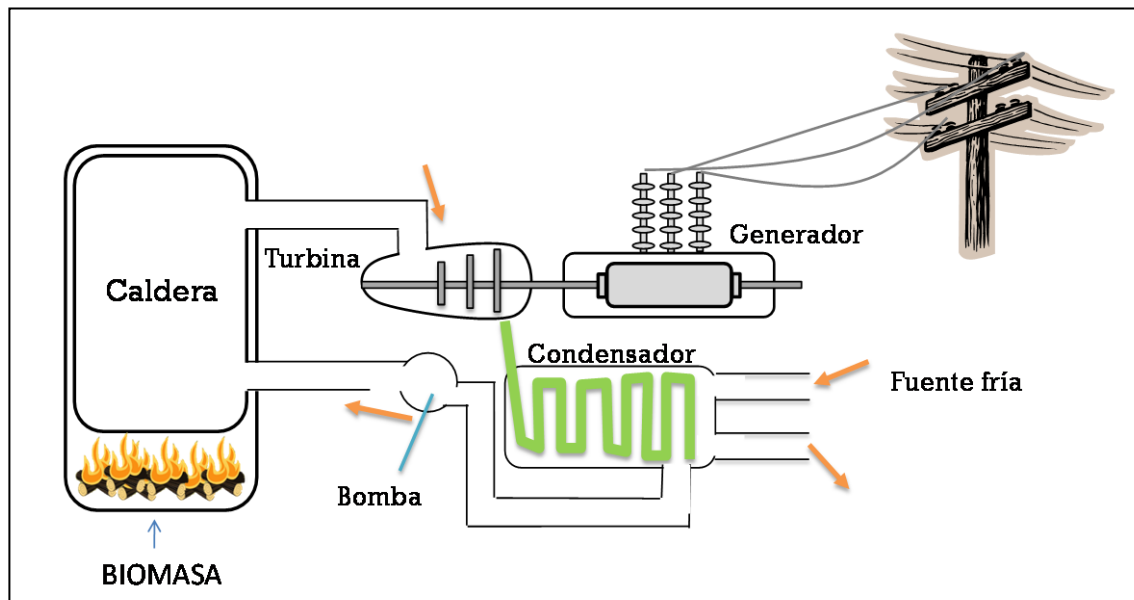


Figura 23. Transformación energética desde la central térmica hasta el lugar de consumo (a partir de Abaladejo et al. , 1997)

Vamos a estudiar los procesos de transformación que sufre la biomasa desde el punto de vista energético en una central térmica, para ello deberemos tener presentes el principio general de conservación de la energía y la idea de la degradación que vimos cuando estudiamos los rendimientos energéticos en la fotosíntesis.

La energía química del combustible produce energía térmica al quemarse. Esta se utiliza para vaporizar agua en una caldera. Este vapor es conducido a una turbina para que giren sus aspas que al estar unidas a un alternador le transmiten su movimiento, convirtiendo así energía mecánica (cinética de rotación) en energía eléctrica. Luego llegará a través de la red eléctrica a nuestras casas donde se transformará en otras energías que cubrirán nuestras necesidades cotidianas (aparatos electrodomésticos, iluminación, calefacción,...).

Podemos representar un esquema de las transformaciones energéticas que sufre la biomasa desde su formación hasta su utilización en nuestros hogares:

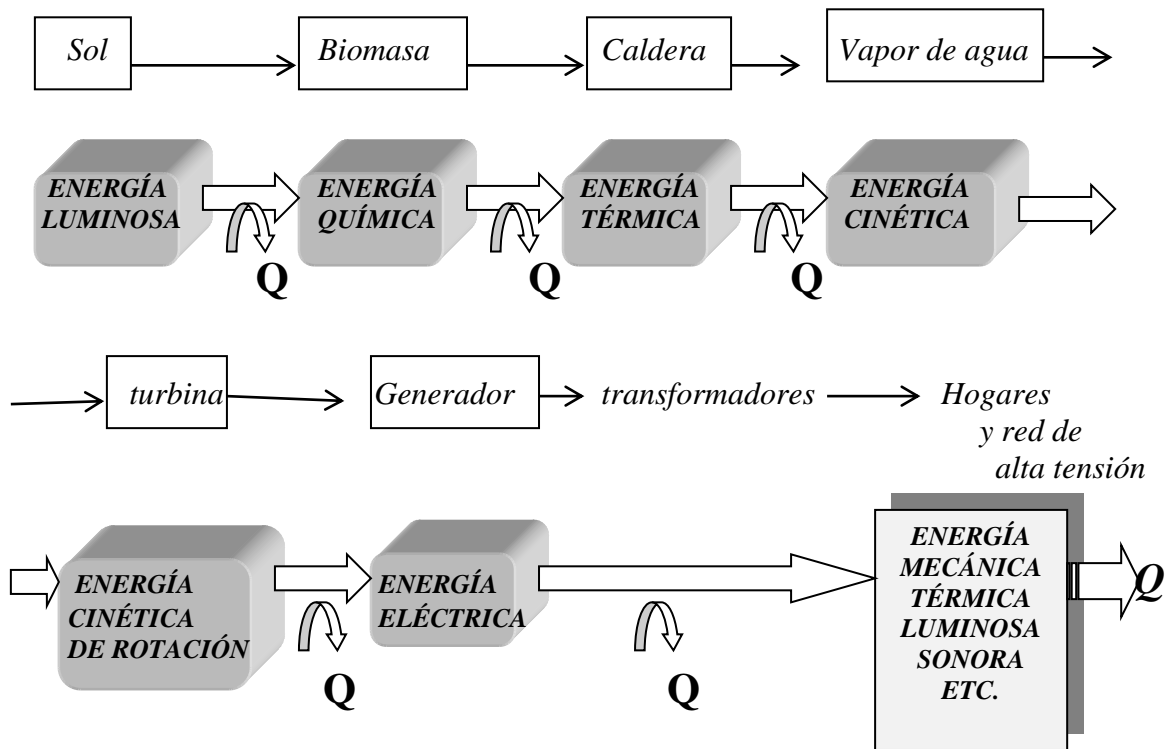


Figura 24. Transformación energética desde la central térmica hasta el lugar de consumo

Vemos que en cada proceso se producen transformaciones no deseadas (en forma de calor fundamentalmente). De cada 100 Julios iniciales tan sólo 30 Julios aproximadamente se transforman en energía eléctrica. Es decir, el rendimiento de la central eléctrica térmica de biomasa es de alrededor del 30%.

Como la conversión en energía eléctrica era nuestro objetivo, por eso se habla de pérdidas energéticas en la central térmica, aunque como sabemos no son tales, ya que si sumamos cada uno de los tipos de energía que aparecen en cada parte del proceso llegaremos a contabilizar el 100%.

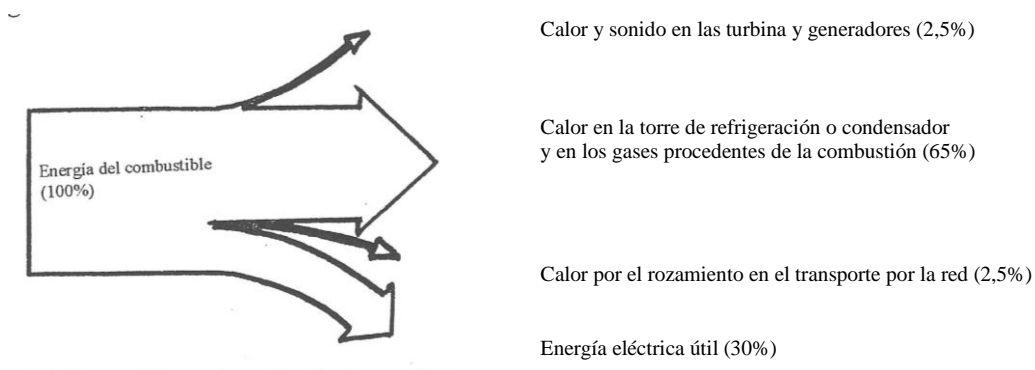


Figura 25. Proporciones de los diferentes tipos de energía en la transformación de una central térmica hasta el lugar de consumo

CENTRALES TÉRMICAS DE COGENERACIÓN: AHORRO ENERGÉTICO.

Parte de la energía térmica generada en el proceso de transformación de la biomasa en energía eléctrica puede ser reutilizada. Por ejemplo, el vapor de agua que mueve las turbinas debe ser condensado de nuevo para volver a la caldera en las torres de refrigeración. Se puede situar en esas torres un intercambiador de calor de forma que caliente una masa de agua. Esta puede servir por ejemplo como un circuito de calefacción para las instalaciones cercanas, incluso para la de toda una ciudad (ej en Suecia). Los gases que se desprenden pueden ser tratados de igual forma.

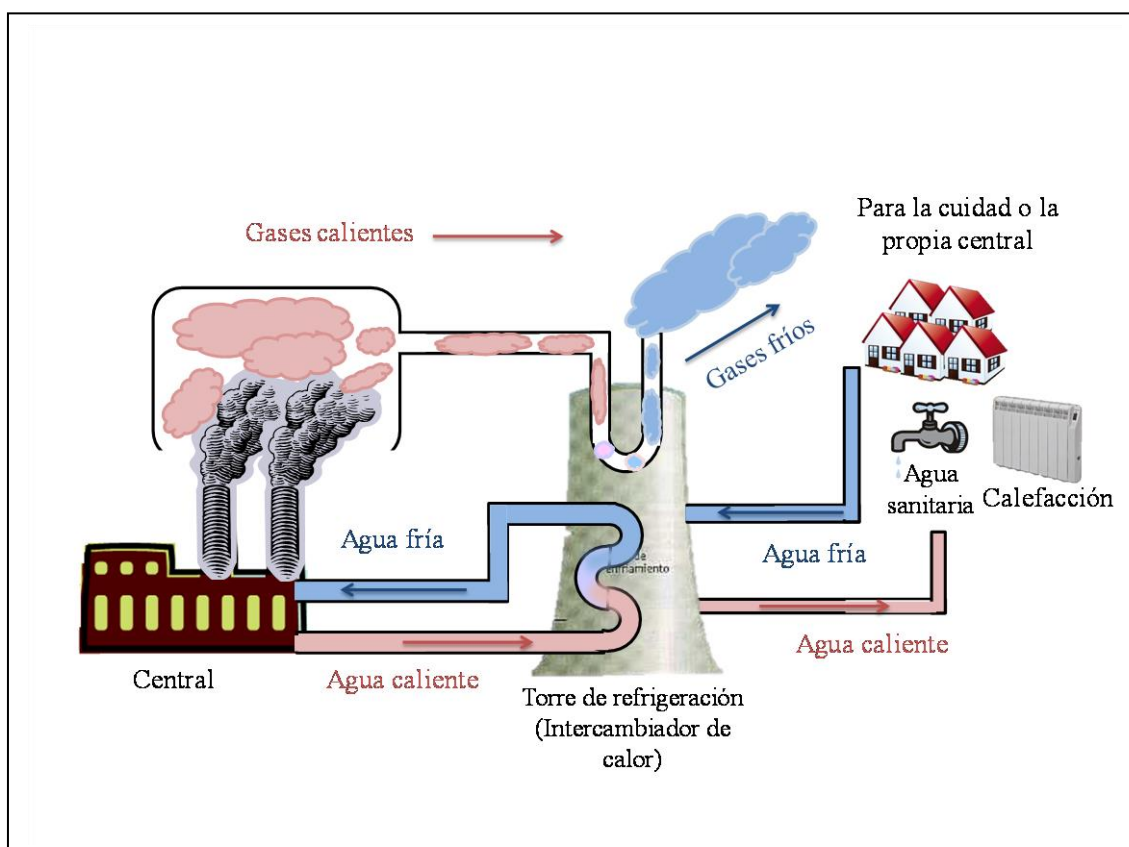


Figura 26. Esquema de una central de cogeneración

9.- EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA EN NUESTRA SOCIEDAD:

Como viste al comienzo de la unidad en los artículos de periódico, uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la sociedad actual es la contaminación.

El uso de ciertas fuentes de energía provoca alteraciones en la composición de la atmósfera. Existen muchas definiciones de contaminación atmosférica pero dos de ellas resultan interesantes por englobar mucho más que lo que puede afectar al ser humano.

Para la OMS(Organización Mundial de la Salud) *“Existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas en tales cantidades y durante tales periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el hombre, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar o uso de bienes”*

En esta definición debemos matizar que las sustancias pueden no ser extrañas a la composición del aire (ej. el CO₂), pero si aparecer en unos niveles que no son los normales y al hacerlo provocar dichos efectos contaminantes.

En la Ley de Protección del Medioambiente Atmosférico del 72(Ley 38/1972) se recoge como contaminación atmosférica: *“Presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza”*

Esta definición es interesante pues se incluye los efectos de la contaminación sobre bienes, como los monumentos, y amplía la contaminación no sólo a materia sino a energía (contaminación acústica, térmica, por radiaciones,...).

9.1: PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN:

Las principales fuentes contaminantes son los vehículos, las calefacciones domésticas y los procesos industriales.

Los vehículos emiten en los países europeos aproximadamente el 70% del CO de la atmósfera, el 25-50% de los óxidos de nitrógeno y del 20 al 24% de los hidrocarburos.

Las calefacciones domésticas contribuyen al 20-30 % de la contaminación atmosférica.

Los procesos industriales que provocan más contaminación son los de transformación de otros tipos de energía en energía eléctrica en centrales térmicas, pues generan el 73% del dióxido de azufre emitido, el 69% de los óxidos de nitrógeno y el 31% de todas las partículas, aunque las cifras dependen del combustible utilizado.

Con estos datos tan preocupantes ¿no deberíamos pensar en la utilización de las energías renovables?

9.2. TIPOS DE CONTAMINANTES

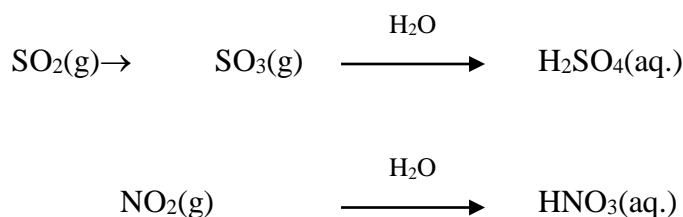
Si nos centramos en las sustancias contaminantes, tenemos que clasificarlos en:

- Contaminantes primarios: emitidos a la atmósfera directamente desde las fuentes: partículas en suspensión, óxidos de azufre, de carbono, de nitrógeno, compuestos halogenados como los clorofluorocarbonos (CFC), metales pesados, metano,...
- Contaminantes secundarios: Se originan en la atmósfera por reacciones químicas a partir de los primarios: SO_3 , NO_3 , ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido carbónico, ozono, nitrato de peroxiacilo conocido como PAN,...

9.3. ALGUNOS EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES:

Lluvia ácida:

Los óxidos de azufre y de nitrógeno se combinan con el agua en la atmósfera dando lugar a ácidos tan corrosivos como el sulfúrico y el nítrico, que al precipitarse acidifican el agua de lluvia dando lugar a la llamada lluvia ácida.



También el CO_2 produce H_2CO_3 , pero es un ácido mucho más débil.

La lluvia ácida destruye la vegetación (al destruir las hojas impide que se realice la fotosíntesis), acidifica ríos y lagos (causando la muerte a las especies que viven en ellos), produce acidez del suelo (impidiendo que se regenere la vegetación), daña las pinturas y rocas de los edificios y monumentos, irrita la piel y las vías respiratorias de las personas y animales,.

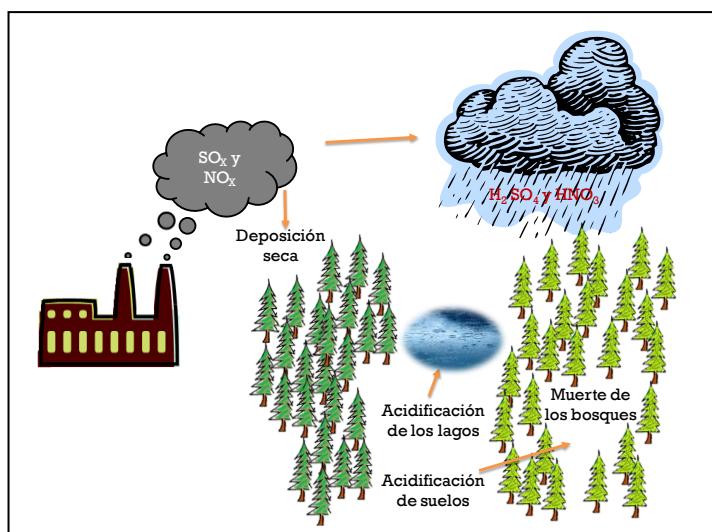
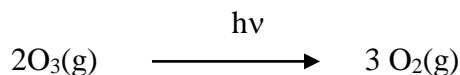


Figura 27. Esquema del proceso de lluvia ácida (A partir de Cabrera et al. 1999)

Destrucción de la capa de ozono:

En la estratosfera, a unos 25km de altura se encuentra una capa que contiene ozono O₃, que filtra las radiaciones nocivas que provienen del sol.



Ciertos gases como los clorofluorocarbonos (CFC) utilizados en los aerosoles, frigoríficos y aires acondicionados son los causantes de su destrucción, permaneciendo hasta 100 años en la estratosfera.

Su destrucción o "agujero" está causando enfermedades graves en la piel (cánceres y quemaduras) y en la visión (cataratas). También es el causante de la destrucción de las masas de hielo en los polos ya que la disminución o ausencia de ozono es mayor sobre todo en la zona de la antártida.

Smog:

Proviene del inglés smoke=humo y fog= niebla. Es una especie de niebla con partículas de humo. Se distinguen dos tipos:

- El smog ácido. El principal componente es el SO₂ (proveniente de combustibles de alto contenido en azufre como el carbón) que se oxida a SO₃ y en ambientes fríos y húmedos produce H₂SO₄. Los tres son muy peligrosos para el aparato respiratorio y los ojos (irritaciones), así como para las plantas (destrucción de las hojas). En 1952 causó en Londres la muerte de 4000 personas.
- El smog fotoquímico, se forma cuando los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en la atmósfera (procedentes principalmente de la combustión en los vehículos de motor) reaccionan con el oxígeno atmosférico por acción de la luz solar formando el ozono O₃, que es una molécula muy reactiva y continúa formando otros oxidantes como el PAN (nitrato de peroxiacetileno), peróxido de hidrógeno y aldehídos.

Todos ellos junto al ozono constituyen una niebla pardusca altamente oxidante, que produce daños en los vegetales (decoloración de hojas) y en la salud humana (afecciones respiratorias, alergias, dolores de cabeza,..), así como en los edificios (el mal de la piedra).

Contaminación por monóxido de carbono:

En las combustiones incompletas de compuestos carbonados como los hidrocarburos, se produce CO en vez de CO₂, que sería el producto de la combustión completa. El monóxido es altamente tóxico para el ser humano ya que se combina con la hemoglobina en el lugar del oxígeno dando lugar a la carboxihemoglobina. La disminución del oxígeno produce intoxicaciones que van desde un mareo a desvanecimientos y finalmente la muerte. (Se llama la muerte dulce). Una mala combustión en una caldera, una mala ventilación del cuarto del calentador, estar con el coche encendido en un garaje cerrado, etc, han sido causas de muertes que frecuentemente leemos en los periódicos.

Efecto invernadero y cambio climático:

Ciertos gases, principalmente el CO_2 , permiten el paso de la radiación solar, de onda corta, pero impide el paso de la radiación térmica, de onda larga, emitida por la tierra al calentarse. Esto se traduce en un aumento de la temperatura que se conoce como efecto invernadero. Entre los gases que lo producen se encuentra el CO_2 (alrededor de un 60%), el metano(15%), los CFCs (un 22%), O_3 (8%)y N_2O (5%).

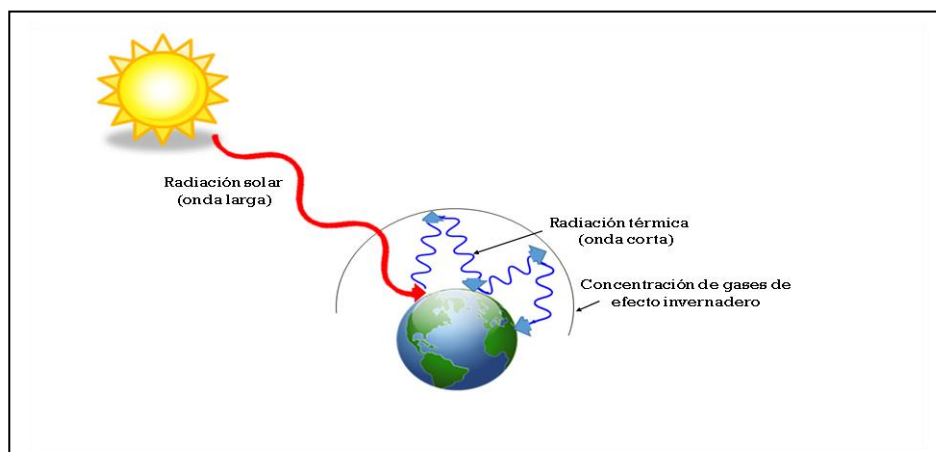


Figura 28. Representación esquemática del efecto invernadero

El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero está modificando el balance energético global y se está produciendo lo que se ha llamado “el cambio climático”. En los últimos 100 años la temperatura ha subido entre 0,3 y 0,7°C siendo la última década del siglo XX la más calurosa. Los expertos prevén que se produzca un aumento de 0,3°C por cada 10 años y a finales del siglo XXI la temperatura haya aumentado entre 1 y 3,5 °C. Otras previsiones sugieren que el aumento será de entre 1,5 y 5°C a mediados de siglo. Incluso los hay que aseguran que no hay evidencias de tal cambio.

El cambio climático en zonas continentales afecta a las precipitaciones y a la humedad del suelo provocando mayor sequía, y en los polos a su progresivo deshielo con el consecuente aumento del nivel del mar, con sus repercusiones ecológicas y sociales.

La preocupación por el cambio climático es evidente y ya ha provocado varias cumbres internacionales: La cumbre de la Tierra en Río (1992), la conferencia de Kioto(1997), donde los países se comprometieron a reducir o estabilizar sus emisiones de CO_2 , y la cumbre de la Haya (2000) sobre el cambio climático, donde se ha puesto de manifiesto que los intereses económicos siguen prevaleciendo sobre los ambientales, sobre todo en países como EEUU.

9.4: EL COSTE AMBIENTAL DEL USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE

Como la composición de la biomasa no incluye cantidades importantes de azufre, nitrógeno o cloro, si la combustión se realiza correctamente no se producen compuestos tóxicos, evitándose así, entre otros, los efectos de la lluvia ácida.

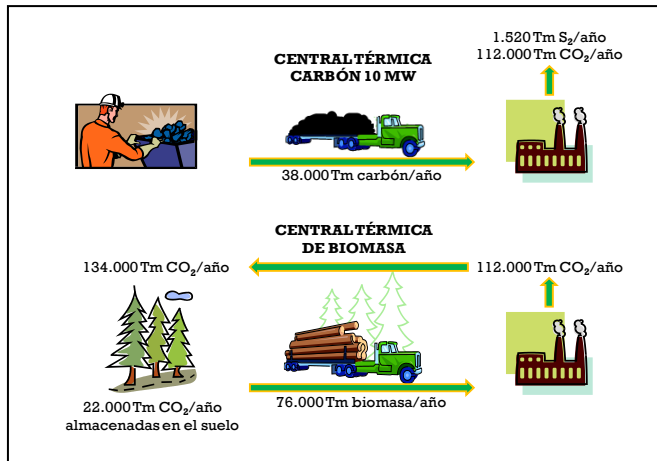


Figura 29. Esquema del proceso de pirolisis (Tomado de IDAE, 1996)

Pero, es inevitable que se produzca CO₂ en su combustión, ¿contribuye entonces al efecto invernadero y por tanto al cambio climático?

En general se considera un balance neutro, pues el CO₂ que se produce proviene de lo que se fijó en un principio mediante la fotosíntesis, y lo que se emite se vuelve a transformar de nuevo en biomasa (lo que se está denominando efecto sumidero) Por lo tanto tendremos un ciclo neutro de CO₂.

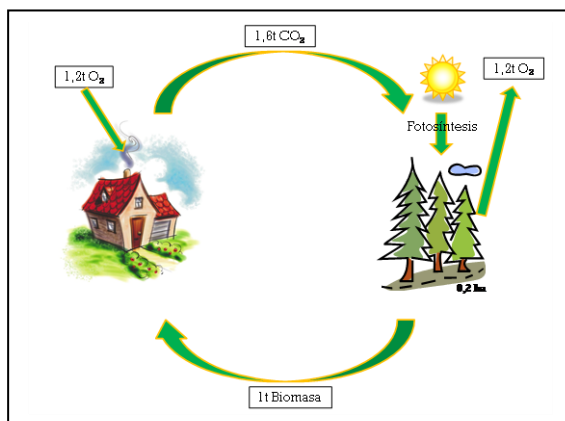


Figura 30. Esquema del ciclo cerrado del CO₂ (Tomado de IDAE, 1996)

A veces puede ser positivo, si plantamos más biomasa de lo que quemamos y a veces negativo, si no reponemos lo quemado. Así, debemos cuidar que el ciclo no se rompa y consumamos una biomasa como combustible que no sea repuesta posteriormente (ej. una cosa es quemar los productos de podas que vuelven a crecer y por lo tanto a fijar ese CO₂ y otra es quemar árboles que raramente se vuelven a reponer).

A pesar de todo lo expuesto, nuestro interés debe ser disminuir los niveles de CO₂ y no sólo mantenerlos constantes por ello otras fuentes de energía renovables como la eólica o la solar deberían potenciarse más.

9.5: SITUACIÓN DE ESPAÑA Y DE TU ENTORNO:

Progresión de los contaminantes en nuestro país.

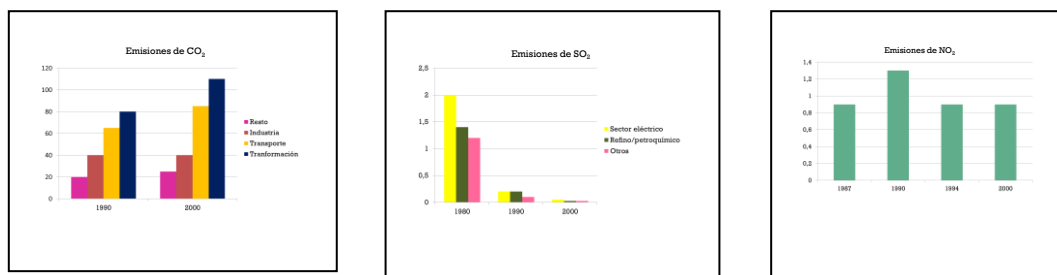


Figura 31. Progresión de los gases contaminantes en España (a partir de EDEBÉ, 1999)

Contaminación en nuestra comunidad y en tu ciudad:

CONCENTRACIONES DE SO ₂ EN LA RED DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID - AÑO 1997		
Estación	Percentil 98 (μg/m ³ N)	Media (μg/m ³ N)
Alcalá de Henares	42,7	20,9
Alcobendas	10,2	11,4
Alcorcón	11,8	13,3
Coslada	26,3	14,7
Fuenlabrada	45,4	12,7
Getafe	18,1	15,4
Leganés	17,0	13,6
Móstoles	18,1	12,5
Torrejón	58,2	24,1

Figura 32. Concentración de SO₂ contaminante en ciudades de la Comunidad de Madrid (Tomado de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999). N:condiciones normales (0°C y 760mm Hg)

CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS EN LA RED DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID - AÑO 1997		
Estación	Percentil 98 (μg/m ³ N)	Media (μg/m ³ N)
Alcalá de Henares	141,7	68,5
Alcobendas	106,4	49,4
Alcorcón	92,3	43,2
Coslada	137,4	55,8
Fuenlabrada	112,2	47,7
Getafe	132,5	63,5
Leganés	170,3	83,7
Móstoles	126,1	56,4
Torrejón	193,6	98,3

Figura 33. Concentración de partículas en el aire de ciudades de la Comunidad de Madrid (Tomado de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999). N:condiciones normales (0°C y 760mm Hg)

CONCENTRACIONES DE NO ₂ EN LA RED DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID - AÑO 1997		
Estación	Percentil 98 (µg/m ³ N)	Media (µg/m ³ N)
Alcalá de Henares	153,5	47,3
Alcobendas	144,5	47,9
Alcorcón	241,3	45,7
Coslada	111,6	56,0
Fuenlabrada	131,01	45,9
Getafe	266,35	50,4
Leganés	175,5	55,8
Móstoles	151,4	28,0
Torrejón	96,3	31,1

Figura 34. Concentración de NO₂ contaminante en ciudades de la Comunidad de Madrid (Tomado de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999). N:condiciones normales (0°C y 760mm Hg)

CONCENTRACIONES DE CO EN LA RED DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA COMUNIDAD DE MADRID - AÑO 1997		
Estación	Máximos de medias diarias (mg/m ³ N)	Media anual de las medias diarias (mg/m ³ N)
Alcalá de Henares	7,6	1,7
Alcobendas	27,2	2,4
Alcorcón	9,7	2,2
Coslada	6,7	1,5
Fuenlabrada	6,8	2,2
Getafe	7,0	2,4
Leganés	10,5	2,9
Móstoles	8,5	1,7
Torrejón	7,4	2,1

Figura 35. Concentración de CO contaminante en ciudades de la Comunidad de Madrid (Tomado de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999). N:condiciones normales (0°C y 760mm Hg)

SUPERACIÓN DE UMBRAL LÍMITE DE INFORMACIÓN A LA POBLACIÓN- AÑO 1997			
Estación	Fecha	Hora	O ₃ (ug/m ³ N)
Alcalá de Henares	11.07.97	16:00	183,0
Alcalá de Henares	11.07.97	17:00	191,2
Alcobendas	20.07.97	14:00	184,4
Alcobendas	20.07.97	15:00	189,4
Alcobendas	25.07.97	14:00	193,3
Alcobendas	25.07.97	15:00	212,3
Alcobendas	25.07.97	16:00	199,7
Alcobendas	01.08.97	15:00	183,3
Alcobendas	01.08.97	17:00	208,7
Alcobendas	01.08.97	18:00	195,5
Fuenlabrada	21.07.97	21:00	193,8
Fuenlabrada	22.07.97	19:00	191,6
Fuenlabrada	14.08.97	16:00	256,8
Móstoles	21.07.97	23:00	207,1
Móstoles	25.07.97	18:00	179,2
Móstoles	01.08.97	15:00	185,2
Móstoles	01.08.97	16:00	182,2

Figura 36. Momentos de superación de los umbrales de seguridad en relación a la contaminación de O₃ en varias ciudades de Madrid. (A partir de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999).

Para poder comparar necesitamos saber que se considera como un nivel perjudicial para la salud, valores oficiales recogidos en la figura 36:

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AIRE	
Contaminante	Umbral límite para la salud (medidos en C.N.)
SO ₂	350µg/m ³ (percentil) y 80µg/m ³ (la media)
NO ₂	200µg/m ³
CO	34-60µg/m ³
O ₃	110µg/m ³
Partículas	250µg/m ³ (percentil) y 80µg/m ³ (la media)

Figura 37. Criterios de calidad del aire (A partir de Consejería de Medioambiente y desarrollo regional, 1999).

EL MUNDO, MARTES 20 DE FEBRERO DE 2001

SOCIEDAD.

► Mil expertos vaticinan que las temperaturas pueden subir este siglo casi seis grados ► El deshielo de los polos y los glaciares elevaría el nivel de los océanos hasta 88 centímetros en este plazo

La ONU anuncia sequías, hambre, epidemias e inundaciones a causa del cambio climático

EL MUNDO, VIERNES 20 DE NOVIEMBRE DE 1998

España ya ha superado el límite de emisiones de CO₂

Medio Ambiente dice que está sobrepasando el 15% previsto para el año 2008

EL MUNDO - 23-X-99

Menos lluvias y más calor en España por culpa del cambio climático

GUSTAVO CATALAN

MADRID.— España será uno de los países más afectados por el cambio climático que se avecina para el próximo siglo. Un estudio de la Unidad de Investigación del Clima de la Universidad de East Anglia de Inglaterra ha elaborado los posibles escenarios ante el aumento de las temperaturas y sus consecuencias globales. Un apartado del mismo evalúa la situación en la Península Ibérica.

MADRID.— El Ministerio de Medio Ambiente desconoce con exactitud cuánto han crecido las emisiones de CO₂ en España desde 1990, año de referencia que establece el protocolo de Kioto sobre cambio climático para alcanzar compromisos de reducción, pero considera posible que en 1998 ya se haya rebasado el 15% de incremento que nuestro

país tiene autorizado de aquí al año 2008.

La directora general de Calidad y Evaluación Ambiental, Dolores Carrillo, declaró a Servimedia que «es posible que en estos momentos estemos más allá del 15%», tal y como afirman las organizaciones ecologistas, que sitúan el incremento actual en el 16%.

Carrillo indicó que lo que está demostrado es que si no se adoptan medidas en todos los sectores responsables de emisiones de gases invernadero, será imposible cumplir el compromiso que adquirió España en la Cumbre de Kioto.

Según las estimaciones de los ministerios de Medio Ambiente e Industria y Energía, de mantener-

se el actual ritmo de aumento de emisiones de CO₂, éstas crecerán hasta el 2010 un 21% respecto a los niveles de 1990.

Dolores Carrillo admitió que, ante esta situación, «habrá que hacer importantes esfuerzos» para que el aumento de emisiones no sea superior al 15% —sobre el total de 1990— cuando llegue el año 2008.

EL PAÍS, lunes 13 de noviembre de 2000

CUMBRE EN LA HAYA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

España prepara para 2001 una estrategia nacional del clima

La energía nuclear, excluida de las medidas

EL PAÍS, viernes 23 de junio de 2000

España se compromete a cerrar 12 centrales térmicas por sus emisiones contaminantes

El coste de la adaptación a las nuevas directrices de la UE superará los 250.000 millones

EL PAÍS, jueves 28 de octubre de 1999

La emisión de dióxido de carbono ha aumentado un 22,8% en España

España no tiene un plan frente al cambio climático, según CC OO

ALICIA RIVERA, Madrid
Comisiones Obreras denunció ayer, con ocasión de la cumbre del clima que se celebra en Bonn, que España no tiene un plan de acción para controlar sus emisiones de gases de efecto invernadero.

ro y cumplir sus compromisos internacionales. Además, las emisiones españolas de dióxido de carbono han aumentado en un 22,8% respecto a 1990, cuando los compromisos establecen un tope del 15% de aumento para dentro de diez años.

EL PAÍS, miércoles 13 de diciembre de 2000

GEOFF JENKINS Jefe del programa de predicción del Centro Hadley

“El hombre es causa principal del cambio climático”

EL MUNDO, VIERNES 27 DE OCTUBRE DE 2000
SOCIEDAD

MEDIO AMBIENTE / LAS TEMPERATURAS SIGUEN EN ALZA

La ONU advierte sobre la gravedad del cambio climático

FELIPE CUNA
Especial para EL MUNDO

NUEVA YORK.— En los últimos cinco años han aumentado las evidencias de que el hombre está destruyendo el medio ambiente de una forma más rápida y efectiva de lo que se pensaba. Su influencia en el calentamiento global tendrá consecuencias catastróficas.

Un informe de las Naciones Unidas advierte que en los próximos 100 años las temperaturas subirán entre 2,4 y 6,3 grados centígrados a consecuencia de la contaminación producida por el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas. Un incremento de este tipo es espectacular y muy peligroso si se tiene en cuenta que desde la Era Glacial las temperaturas han subido unos 4,9 grados centígrados.

La ONU considera imprescindible que las emisiones de gases de efecto invernadero sean reducidas cuanto antes porque la subida de las temperaturas provocará grandes sequías, hambrunas con millones de víctimas, la desaparición de muchas especies animales, cultivos y bosques, y una subida muy peligrosa de los niveles de los mares.

Los científicos de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de Medio Ambiente de la ONU han consultado sus tablas de temperaturas y han estudiado los niveles de contaminación que se anticipan para las próximas décadas y ven un futuro caluroso e irrespirable.

Las ONU ha distribuido el informe de sus científicos entre los estados que acudirán en enero próximo a Shanghai, en China, a una reunión para estudiar los avances realizados en la lucha contra esta contaminación. Entre el 13 y 24 de noviembre se reúne en La Haya la Cumbre del Clima, para concretar cómo aplicar el Protocolo de Kioto.

Los estudios realizados durante los últimos cinco años demuestran que el efecto invernadero, producido por la quema de los combustibles fósiles utilizados por el hombre «ha contribuido sustancialmente al calentamiento observado durante los últimos 50 años», asegura el informe.

Riesgo devastador

Michael Oppenheimer, un físico atmosférico del grupo Defensa Ambiental que ha participado en la redacción de este documento, asegura que estas advertencias sobre el calentamiento significan «un riesgo de consecuencias devastadoras para la Humanidad en el siglo que entra».

Hace tres años, la mayoría de las naciones industrializadas acordaron en la ciudad japonesa de Kioto recortar las emisiones peligrosas de gases nocivos, principalmente dióxido de carbono (CO₂), para reducir los peligros del calentamiento global. El Protocolo de Kioto fue firmado por más de 150 países, pero tres años después ningún Parlamento de los países firmantes lo ha ratificado y todos los países siguen emitiendo aún más gases.

El apocalipsis del «efecto invernadero»

CARLOS ELIAS

DRID.—No son las profecías de Sadrassus sobre el fin de los tiempos. Son las conclusiones del Intergubernamental

Cambio Climático (C), un informe elaborado por más de un millar de científicos de todo el mundo y que deberá aprobarse en mayo del 2001. Coincidiendo con la cumbre de la Haya algunos científicos han filtrado el último número de la revista New Scientist algunas de sus conclusiones. El panorama que nos espera el siglo XXI es, francamente, desolador. La primera conclusión: las temperaturas medias no sólo se elevarán un máximo de grados como se pronosticaba en 1995. Este dato se verá en función de los usos de unos ya viejos sistemas informáticos.

En los nuevos modelos se prevé que se incrementará en seis grados, es decir, casi el doble de lo previsto. Las modelizaciones arrojan una pregunta: ¿pasará si la cantidad de gases con efecto invernadero duplica la existente en la actualidad? La respuesta es que de no tomarse medidas drásticas ocurrirá en el 2080 una gran catástrofe: la temperatura comenzará a caer y los inviernos serán más largos. En España, por ejemplo, se prevé que dentro de 20 años, los inviernos fríos se reducirán a la mitad y en el 2080 prácticamente desaparecerán. Tendremos eterno verano y eso supondrá, según el informe, escasez de agua, más incendios forestales y desertificación.

Mil científicos del IPCC alertan de que las temperaturas subirán el doble de lo previsto



Equipos de rescate en plena faena tras las inundaciones que afectaron recientemente a Italia.

Se prevén «intensísimas olas de calor» lo que según el informe, desanimará a los turistas a visitar los países del sur de Europa. En el norte tampoco se escaparán de la nueva versión del Apocalipsis: allí aumentarán las lluvias torrenciales y las inundaciones. «Los impactos negativos del cambio climático se dejarán sentir de forma más aguda en las áreas rurales de Europa meridional y oriental que sufrirá un calentamiento el doble de valor que en el norte», se precisa.

¿Qué diferencia estas predicciones de simples profecías o premoniciones? Pues que si a los modelos informáticos se les da hacia atrás en el tiempo y se les introduce las condiciones de 1900 prácticamente calculan lo que durante estos cien años se ha recopilado en los institutos nacionales de meteorología: las precipitaciones en Europa del norte han aumentado entre el 10% y el 40%, mientras que el sur se ha secado un 20%. La temperatura ha subido 0,8 grados este siglo siendo la última década la más cálida. Y el nivel de los océanos se ha incrementado entre 10 y 20 centímetros en este siglo, lo que significa un ritmo 10 veces superior a la media de los 3.000 últimos años.

«No sólo hay que luchar para que no se sigan emitiendo gases con efecto invernadero como el dióxido de carbono sino que también habrá que aplicar el ingenio para resolver los graves problemas que, irremediablemente, se avecinan», señaló Martín Parry científico de la universidad británica de East Anglia y director del informe para la Unión Europea.

EL MUNDO.

13 DE NOVIEMBRE DE 2000

Una cumbre para frenar el cambio climático

Protocolo de Kioto pasará su prueba de fuego en la reunión que se inicia hoy

JUSTO CATALAN DELIS contaminación aumenta y las temperaturas también. Es un día crucial para resolver esta espiral inquietante que rodea a un planeta más caliente y con fenómenos meteorológicos cada vez más violentos. La Conferencia de las Partes del Cambio Climático (COP-6) comienza hoy en La Haya ante las próximas dos semanas de negociaciones que se aplican prácticas el Convenio del Clima de Kioto, que ahora es un papel mojado y buenas voluntades.

El lector recuerda, todos los reuniones en diciembre de Kioto aprobaron la última parte de las sesiones para un acuerdo global: reducir el 52% de las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero entre el 2008-2012, las emisiones que hubo en 1990. El acuerdo debería haber sido ratificado por los parlamentos de los 180 países firmantes, pero lo ha hecho. En los tres años transcurridos desde el principio del protocolo, que también añadió límites de flexibilidad para alcanzar la reducción de contaminación, han surgido tensiones divergentes: de una parte, defensas de la industria, apoyadas por la izquierda burguesa, y de la otra, las grandes asociaciones ecologistas, como Greenpeace, Amigos de la Tierra, WWF o Birding Tide, que la voz de alarma sobre los cambios de flexibilidad, a veces se demuestran como «el efecto invernadero», que podrían anular los acuerdos acordados en el Protocolo de Kioto. Finalmente, los mecanismos

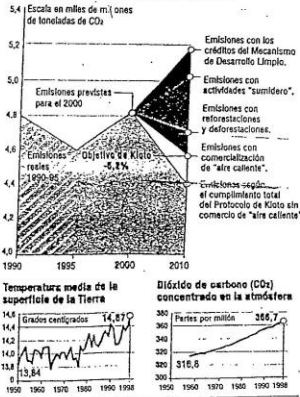
de flexibilidad son: la inclusión de sumideros de carbono (como las plantas absorben CO₂), se pretende hacer cultivos especiales para seguir contaminando; los sistemas de desarrollo limpio (a cambio de facilitar tecnología a países en desarrollo, el donante se apunta la reducción de las emisiones que se logren en este país) o el comercio de aire caliente (la compra de emisiones de CO₂ a países menos industrializados).

Las espadas están en alto y la hora de interpretar las tres fórmulas. Será lo que tengan que acordar los reunidos en La Haya. Y según lo que ocurra al final de esta Cumbre del Clima, el Protocolo de Kioto se pondrá en vigor en el 2002 o se retrasará tres años.

Excusa barata Por ejemplo, el problema de los sumideros es que son una excusa muy barata para no reducir las emisiones, según José Luis García Ortega, responsable de Energía de Greenpeace España. Como las plantas absorben CO₂ de la atmósfera, los países que promueven esta iniciativa en su máxima expresión, que son los más contaminadores, quieren seguir emitiendo gases a cambio de actividades forestales. Por cada tonelada de carbono almacenada en los árboles y que se suene en el Protocolo de Kioto, habrá por tanto una tonelada extra de combustible fósil que se quemará. Si se acepta a la grande este sistema, se contabilizarán las toneladas que la planta absorbió en su día, pero que en cualquier momento se pueden liberar a través de los troncos forestales. Es dejar una hipoteca de CO₂ para las generaciones venideras. El 52% de reducción de emisiones acordado significa dejar de emitir 700 millones de toneladas

Las trampas en el Protocolo de Kioto

Emisiones previstas de gases de efecto invernadero Según los mecanismos que se autorizan en la Cumbre de la Haya, la reducción en un 5,2% de emisiones de gases que se aprobó en Kioto podrá llevarse a la práctica o convertirse en una meta imposible.



Los apodosos de La Haya

Los 180 países que asistirán a la cumbre sobre el clima en La Haya, se agrupan por grupos de presión que tienen apodo. El lector debe de familiarizarse con ellos: La burbuja comunitaria es el nombre que reciben los 15 países europeos de la UE. Presentan una postura casi uniforme y son la vanguardia de los países industrializados que quieren una aplicación estricta y rápida del Protocolo de Kioto, por la cuenta que

les trae. El grupo 77 o G-77 lo integran 77 países en vías de desarrollo a los que lidera China y otras potencias emergentes. No tienen prisa en aplicar el Protocolo de Kioto, pero sí quieren recibir las tecnologías que el protocolo les facilita. Otros lobbies presentes en La Haya son la organización petrolera OPEC, el sector de la energía nuclear y las grandes ONG ecologistas.

anuales de gases de efecto invernadero. Curiosamente, esta es la cifra que, según el Informe Especial del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) puede absorber la vegetación del planeta. Por tanto, si este mecanismo se adopta sin reservas, nadie tendrá que reducir su contaminación. Kioto no valdría de nada.

Comprar aire caliente

Otro mecanismo será el de la compra de aire caliente. El Protocolo asigna a cada país una cuota límite de contaminación y permite que los países puedan comprar y vender esas cuotas. Hay países como Rusia, al que se le asignó una cuota muy superior —porque era un país muy industrial—, pero hoy vendió a precios que desea vender sus derechos; y otros, como EE.UU., que desea comprarlos. Con este sistema todos sacan guita que no se iban a sacar, otro los empuja. En la Cumbre de la Haya se decidirá que límites se ponen a ese comercio o si no habrá límites, tal y como desean algunos. El tercer caso de mecanismos se refiere a las ayudas tecnológicas para que los países pobres puedan mejorar su vida, y a cambio, esa reducción se la apunta el país donante. ¿Qué tipos de proyectos? ¿Qué tecnologías se aceptarán? En reuniones precedentes algunos de los países más industrializados han llegado a proponer el construir centrales nucleares en el Tercer Mundo. De esta manera exportarían una tecnología que no se quiere en Occidente y además se apuntarían ellos la reducción de emisiones. La pervenencia de la interpretación de este mecanismo ha llevado a algunos a proponer como un mecanismo de desarrollo limpio el construir centrales térmicas de carbón en los países pobres. Por ese motivo, los ecologistas proponen que sólo sean tenidos en cuenta en este punto aquellos proyectos que tengan que ver con fuentes de energía renovable. Hay un último punto que se deberá acordar: el régimen de control y las sanciones a los que no cumplen el Protocolo. En este caso hay desde países que quieren sanciones ejemplarizantes, a los que no quieren sanciones de ningún tipo. Algunos de estos últimos piden que les dejen tomar prestada parte de su cuota de emisiones del futuro; así no harían nada y se gastarían incluso el presupuesto de sus próximas generaciones.

EL MUNDO.

13 DE NOVIEMBRE DE 2000

Una muerte dulce

JOSE LUIS DE LA SERNA
Cuando una persona ha tenido una muerte rápida y sin sufrimiento, se dice que ha tenido una **muerte dulce**, un término no científico que corresponde al significado etimológico de la palabra eutanasia.

La intoxicación por monóxido de carbono (CO), que, al parecer, ha sido la causa del fallecimiento de la familia del distrito de San Blas, está incluida dentro de este tipo.

Durante la exposición a CO, que es llamado el **asesino silencioso** porque es inodoro e incoloro, el gas se liga rápidamente a la hemoglobina, el pigmento respiratorio que distribuye y provee de oxígeno a todos los tejidos del organismo humano.

Al hacerlo de una forma 200 veces más veloz que el oxígeno, bloquea los glóbulos rojos e impide la captación de oxígeno.

El resultado es el mismo que si se ataran las arterias y se anulara el riego sanguíneo. En consecuencia, y si la concentración del gas en el aire es elevada, el afectado entra pronto en estado de coma.

Un tratamiento de urgencia puede salvarlo. En estos casos, la intoxicación a menudo provoca secuelas neuronales por la falta de oxígeno. Si la exposición al gas no se detiene, el afectado sufre entonces una parada cardíaca y muere.

Una concentración de CO de 400 partes por millón de monóxido de carbono en el aire (el máximo permitido por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos para los gases de combustión) produce la muerte en unas tres horas.

Si la concentración es ocho veces mayor, la intoxicación resulta mortal en 30 minutos.

Los primeros síntomas, que normalmente no se advierten hasta que ya es demasiado tarde, son dolor de cabeza, náuseas, fatiga crónica, confusión y desvanecimiento. El siguiente paso es el fallecimiento.

Pero la exposición regular a estufas, automóviles, cocinas de gas o calderas que no quemien bien el combustible también pueden provocar otro tipo de intoxicación, que podría denominarse crónica.

En el siglo pasado, las lámparas de carbón que había en las casas y en las calles eran una fuente común de este trastorno.

El célebre escritor Edgar Allan Poe sufrió por ello una patología denominada Sensibilidad Química Múltiple, caracterizada por la hipersensibilidad a diversos elementos químicos. El alcohol y la mayoría de los fármacos agudizan los síntomas.

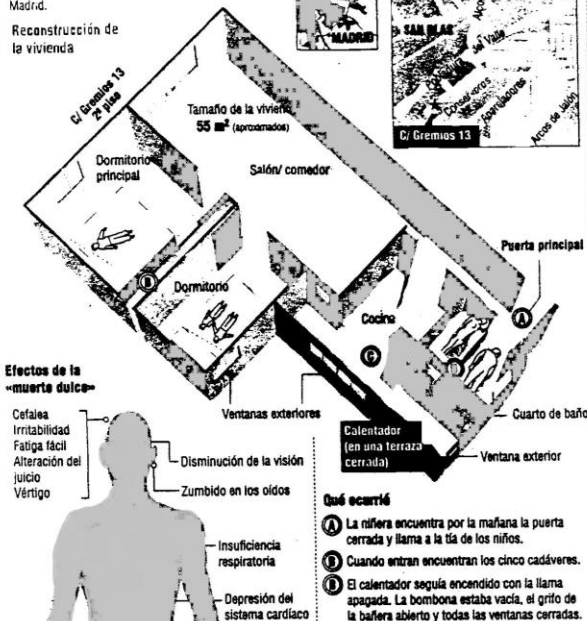
Un editorial publicado el año pasado en el prestigioso *British Medical Journal* afirmaba que esta patología es hoy en día mucho más común de lo que reflejan las estadísticas.

TRAGEDIA EN SAN BLAS

Una familia muerta por un gas inodoro

Un calentador de agua en mal estado causó la muerte ayer de un matrimonio y sus tres hijos de corta edad en el barrio de San Blas de Madrid.

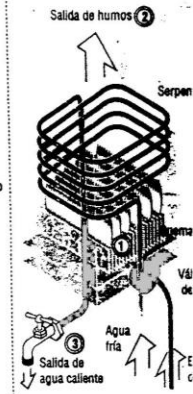
Reconstrucción de la vivienda



FUENTE: Elaboración propia, agencies

Hipótesis de fallos en el calent

1. Suciedad y oxidación de los quemadores: Produce combustión incompleta del gas que se traduce en la formación de monóxido de carbono (CO) -cuyo olor no es apreciable.
2. Obstrucción en la salida de los humos.
3. El grifo de agua caliente abierto: Si el grifo de agua caliente está abierto y por cualquier causa se apaga la llama en los quemadores, sigue saliendo gas sin quemarse, se produce la muerte por asfixia.



EL MUNDO, LUNES 24 DE ENERO DE 2000
SOCIEDAD

ALERTA / CIENTÍFICOS EUROPEOS Y DE LA NASA ESTUDIAN EL FENÓMENO

Investigan un posible agujero en la capa de ozono del ártico

Aumenta el riesgo de padecer cáncer de piel en Europa

ALARMA

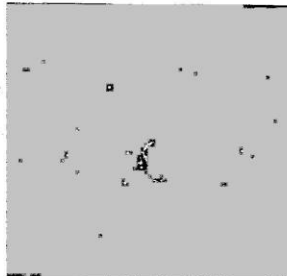
El agujero de la capa de ozono se extiende hacia Suramérica a velocidad preocupante

Malas noticias: el agujero de la capa de ozono crece sin control. Lo puedes ver en la imagen. Es esa mancha azul que cubre la Antártida y se extiende sin piedad hacia Suramérica. Tanto, que los meteorólogos de las Naciones Unidas han advertido de que el agujero podría alcanzar este año una profundidad récord. También la Dirección Estadounidense de Aeronáutica y Espacio -más conocida como NASA- se ha quedado asombrada por las dimensiones del **boquete** que se está cargando a pasos agigantados la capa que protege a la Tierra de las radiaciones solares nocivas. Para que te hagas una idea, piensa que su extensión es de 28,3 millones de kilómetros cuadrados. ¿Y eso cuánto es? Pues una superficie que equivale al territorio

de los Estados Unidos multiplicada por tres. El borde del agujero ya llega hasta la ciudad argentina de Ushuaia, la más austral del mundo. En las últimas semanas, las 12 estaciones que rodean la Antártida han informado de mediciones de ozono que están entre un

50 y un 70 por debajo de lo que era normal en los años 60 y 70.

Ante este panorama, los meteorólogos han metido a los gobiernos para que cumplan con las promesas que hicieron en la cumbre de Kyoto, en 1997. Entonces se comprometieron a reducir las emisiones de gases nocivos, como el dióxido de carbono (que es producido por el escape de los automóviles), causantes del calentamiento planetario y otros extraños comportamientos meteorológicos.



EL PAÍS, viernes 8 de septiembre de 2000

Los ecologistas atribuyen al calor y al aumento del tráfico este episodio "atípico" en septiembre

El ozono contaminante supera el umbral de aviso en Alcobendas y Alcalá de Henares

EL PAÍS, Madrid
Alcobendas y Alcalá de Henares sobrepasaron ayer, durante una hora, los niveles de ozono troposférico en el aire a partir de los cuales debe avisarse a la población: 180

microgramos por metro cúbico. Este tipo de ozono, presente en la capa más baja de la atmósfera y nocivo para la salud, se forma por la combinación de óxidos de nitrógeno y alta radiación solar. Los eco-

gistas achacaron ayer a las altas temperaturas de los últimos días y al aumento del tráfico tras las vacaciones este episodio "atípico" en septiembre. El PSOE pidió "respuestas" a las instituciones.

Según un real decreto de 1995, las autoridades deben avisar a la población cuando la presencia de ozono troposférico supera los 180 microgramos por metro cúbico de aire. Esa concentración es ya nociva para la salud de la población sensible: niños, ancianos y personas con problemas respiratorios deben evitar el ejercicio intenso al aire libre. Pero sólo a partir de los 360 microgramos por metro cúbico toda la población está amenazada y las instituciones deben poner en marcha sus mecanismos de alerta. Ayer, Alcobendas registró, entre las 14.00 y las 15.00, 189 microgramos, mientras que en Alcalá de Henares se detectaron 184 microgramos entre las 17.00 y las 18.00.

Juan García, portavoz de Ecologistas en Acción, señaló que ambos episodios son "inusuales" en este mes, sobre todo teniendo en cuenta que durante el verano, la época que mayor concentración de ozono registra (por la alta radiación solar), sólo se han superado los 180 microgramos por metro cúbico en tres ocasiones —frente a las 69 del verano pasado—: dos en Coslada y una en Torrejón de Ardoz. Ambas, el 24 de junio. El ozono troposférico se forma al mezclarse la radiación solar con óxidos de nitrógeno, contaminantes emitidos generalmente por coches e industrias de combustión.

Calor y coches

El verano, por tanto, ha sido "atípico". Y los niveles registrados ayer en Alcobendas y Alcalá, también. García los atribuyó a las altas temperaturas de los últimos días, a la ausencia de lluvias desde hace tres meses y a la vuelta de los automovilistas de sus vacaciones: hay más contaminación y mucha radiación solar, lo que favorece la formación de este gas nocivo.

La formación del ozono troposférico



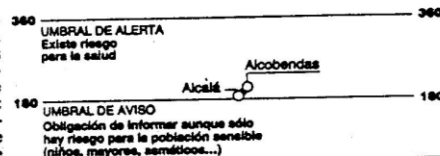
Se forma por la reacción fotoquímica que produce la combinación de compuestos procedentes de vehículos e industrias con altas radiaciones solares. El ozono, que de forma natural está en una capa a unos 25 kilómetros de altura, filtra las radiaciones solares e impide el paso de los rayos ultravioleta, pero cuando se concentra a niveles bajos es nocivo para el medio ambiente.

Efectos nocivos

- Irritación en los ojos
- Irritación en las vías respiratorias
- Perturbaciones respiratorias, sobre todo en niños, ancianos y asmáticos
- Menor resistencia inmunológica
- En las plantas reduce la actividad fotosintética

Niveles de concentración

En microgramos por metro cúbico en una hora



Fuente: Consejería de Medio Ambiente y Ayuntamiento de Madrid.

Concentraciones máximas registradas en el día de ayer. Entre paréntesis la hora.



EL PAÍS

El portavoz de la asociación ecologista advirtió, eso sí, de que similares niveles de ozono en aire podrían registrarse de nuevo en los próximos días no sólo en Alcalá de Henares y Alcobendas, municipios "propicios" a sufrir este tipo de contaminación por estar situados "en la corona metropolitana, donde se acumula gran cantidad" de óxidos de nitrógeno, sino también en otras localidades, como San Sebastián de los Reyes y Coslada.

Los municipios de la corona metropolitana fueron el verano pasado los que mayores niveles

de ozono troposférico tuvieron que afrontar. Esto desató una polémica que aún perdura: en estas localidades se opina que el tráfico de la capital produce unos contaminantes que luego son transportados por el viento hacia los municipios vecinos. Allí, con una atmósfera más limpia que deja pasar mejor los rayos solares, se forma, argumentan, el tóxico ozono.

A favor de un mayor control del tráfico capitalino y de "respuestas inmediatas" por parte de las instituciones madrileñas se pronunció ayer Cristina Narbona, portavoz adjunta del

PSOE-Progresistas en el Ayuntamiento de la capital y presidenta de la comisión de medio ambiente en la Federación de Municipios de Madrid. "En otras ciudades, como París, ante un incremento del ozono las autoridades llevan a cabo una restricción inminente del tráfico", aseguró Narbona, que pidió también ampliar el apoyo al transporte público más allá del Día sin Coches (que se celebrará el próximo 22 de septiembre).

La Comunidad informó de la bajada del ozono hasta "niveles normales" a partir de las 19.00, tras la caída del sol.

Ocho municipios forman un frente común para impedir la contaminación por ozono

Los ayuntamientos, entre los que se encuentra el de Alcalá, estudian pedir al Consistorio de Madrid que limite el tráfico rodado

■ En Alcalá, se rebasó el máximo recomendable en 22 ocasiones

10.- EL INICIO DE LA UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN ESPAÑA.

Como hemos visto al principio de la unidad la biomasa ha sido utilizada desde la antigüedad como fuente de energía para calentarse, cocinar, etc. en hogueras, fogones, chimeneas, etc. Ahora el reto es conseguir utilizar esta energía en gran cantidad, para abastecer la sed energética creciente de nuestra sociedad. Veamos algunos ejemplos de implantación centrales de transformación energética de la biomasa en España.

EL PAÍS, martes 11 de abril de 2000

La UE pretende que en 10 años el 22% de la electricidad europea sea 'verde'

Loyola de Palacio considera urgente aplicar "medidas de choque" para cumplir con Kioto

XOSÉ HERMIDA, Santiago de Compostela
La Unión Europea pretende que en el próximo decenio, un 22% de la electricidad que se consuma en los países miembros provenga de fuentes renovables. Esa apuesta por

potenciar las energías verdes, como la eólica, fue presentada ayer en Santiago de Compostela por la vicepresidenta de la Comisión, Loyola de Palacio, como una de las medidas "de choque" para que la UE cumpla

los compromisos de Kioto (Japón) sobre emisión de gases contaminantes. De Palacio adelantó que su propósito es que Bruselas tenga potestad para amonestar a los países que no cumplan los objetivos.

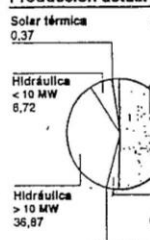
La que se ha dado en llamar "electricidad verde" procede fundamentalmente de seis fuentes de energía distintas: geotérmica, biomasa, eólica, solar, minihidráulica y gran hidráulica, esta última excluida de las ayudas oficiales que conceden los Estados europeos. Hasta ahora, el 14% de la electricidad consumida en Europa proviene de esas fuentes. Pero su desarrollo varía sustancialmente de un país a otro. En España supone el 19,9% del total, lejos del 38,5% de Portugal, pero muy por encima del raquítico 1,7% del Reino Unido o del 3,6% de Irlanda.

Loyola de Palacio, vicepresidenta de la Comisión y responsable de la cartera de Transportes y Energía, va a presentar en los próximos días a la Comisión una propuesta de Directiva para fomentar las energías renovables, cuyo contenido sustancial avanzó ayer en Santiago de Compostela. Si prospera el borrador elaborado por la comisaria española, en 2010 el 22% de la electricidad europea procederá de energías verdes. Para España, el objetivo fijado es del 30%. A los países más retrasados se les exigirá un considerable esfuerzo, como es el caso del Reino Unido, que deberá pasar del 1,7 al 10%.

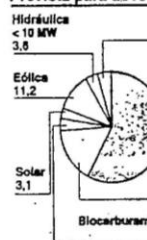
La comisaria enmarcó esta directiva en la necesidad de que la Unión cumpla los acuerdos internacionales para reducir la emisión de gases contaminantes y prevenir el efecto invernadero. De Palacio admitió que en la UE no se están cumpliendo las previsiones contenidas en el protocolo de Kioto. "Aún nos separa una distancia grande", explicó la comisaria, "y la evolución de este asunto en los últimos años no nos permite ser, ni mucho menos, optimistas". De Palacio se mostró dispuesta a que la Comisión tenga

La energía renovable en España

Producción actual

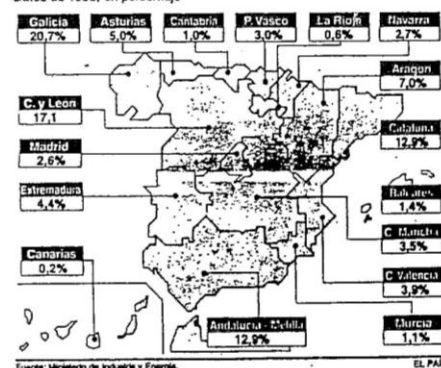


Prevista para 2010



Producción de energía renovable por comunidades

Datos de 1998, en porcentaje



Fuente: Ministerio de Industria y Energía.

capacidad para "amonestar" a los países miembros que no impulsen el uso de energías renovables. "Es un compromiso que se tiene que exigir y que debe tener una carga política importante", explicó. En todo caso, las metas fijadas para cada país son "indicativas" y tampoco se va a imponer un sistema concreto de sanciones para los casos

en que no se cumplan estrictamente. Se trataría más bien, adelantó De Palacio, de que, ante alguna "actitud recalcitrante", el Parlamento o la Comisión adopten medidas de presión contra el Estado que no se atenga a la política energética general.

De momento, el proyecto de la comisaria española no esta-

blece ningún sistema para unificar los modelos de subvenciones a este tipo de energías, variables de un país a otro. En España, un decreto del Ministerio de Industria impone a las grandes compañías la compra, a un sobreprecio fijo, de un determinado porcentaje de energía procedente de fuentes renovables. Otros Estados prefieren el sistema de exenciones fiscales o la promoción de la etiqueta verde. En todo caso, la propuesta que De Palacio presentará a la Comisión contiene el compromiso de que en el plazo de cinco años se establezca un sistema común que armonice la concesión de primas en toda la UE.

Certificados ecológicos

De Palacio también pretende que la Comisión se reserve la facultad de imponer ciertas medidas sobre cuestiones técnicas. Así, se quiere obligar a que los baremos que utiliza cada país para certificar la energía verde sean "claros y precisos". En algunos casos, Bruselas podría imponer a los Estados miembros que "racionalicen y aceleren" los procedimientos para la concesión de licencias a las plantas de generación de energías renovables, y que éstas "tengan un acceso prioritario al mercado".

No es habitual que un comisario presente el borrador de una directiva fuera de Bruselas, pero De Palacio quiso tener una deferencia con Galicia y aprovechar la ocasión para darse un baño de ecologismo. La comisaria mantiene una estrecha amistad con el presidente de la Xunta, Manuel Fraga, y veranea todos los años en Galicia, la comunidad española donde más desarrollada está la energía eólica. De Palacio, ayer escogió para presentar el borrador de directiva un edificio bioclimático de la Universidad de Santiago.

INSTALACIÓN DE UNA PLANTA GENERADORA DE BIOETANOL. ¿Tan sólo una cuestión medioambiental?

La posible instalación de una planta productora de bioetanol suscitó este verano numerosas manifestaciones de ciudadanos que querían su ubicación en su comarca ¿por qué tanto interés?. El problema para ellos no era ambiental sino socioeconómico.

A mediados del año 2000 la empresa española Ebro-Puleva anuncia su intención de instalar una planta de producción de bioetanol en Castilla y León. Muchos pueblos de las comarcas de León, Salamanca y Burgos entre otras ven abierto su futuro, hasta ahora incierto, si la instalación se produce en sus tierras. Nuevos puestos de trabajo, salida para sus excedentes agrícolas (de cereales, remolacha,...) que habían puesto a muchos sectores agrícolas al borde de la reestructuración, riqueza para la zona, etc. Por no hablar de las ayudas y exenciones fiscales para este tipo de combustibles y para la propia fábrica.

El enfrentamiento entre comarcas fue duro, pues lo que estaba en juego era el futuro de muchas familias. Finalmente ganó Baldilafuente, en Salamanca, y allí se construirá la novedosa central de bioetanol, que esperamos contribuya en gran nivel al alivio medioambiental español y al porcentaje de energías renovables que España debe cumplir en breve. Pero sobre todo, que cunda el ejemplo y se instalen muchas otras ya que todo parece ser favorable para ello.

Quinientas personas se manifiestan en Veguellina de Órbigo en protesta por la ubicación de la planta de bioetanol

SALAMANCA

La guerra del bioetanol traslada sus frentes de la región a la provincia

Arévalo pedirá hoy a Nornieila albergar la planta

La pugna entre las nueve provincias de Castilla y León para que se ubicara en sus respectivos suelos la planta de bioetanol de Azucarera Ebro Agrícolas y Abengoa se ha trasladado ahora a Salamanca. En esta provincia son ya varias las localidades que demandan este proyecto para sus respectivos términos municipales como Béjar o Baldilafuente.

El alcalde de Silos pide a José María Aznar que la planta de bioetanol se instale en Aranda de Duero

Juan José Lucas asegura que el Presupuesto de la Junta para 2001 buscará alcanzar el déficit cero

ECONOMÍA

El Órbigo protesta hoy por la decisión de Ebro sobre la planta de etanol

UPL acusa a Lucas de haber promovido su instalación en Salamanca

La Plataforma en defensa de la planta de bioetanol para la localidad leonesa de Veguellina del Órbigo ha decidido convocar una manifestación para la jornada de hoy ante la decisión de las empresas Azucarera Ebro Agrícolas y Abengoa de ubicar la factoría en Salamanca. La movilización popular se llevará a cabo a partir de las 20 horas en la plaza de España de Veguellina.

Viernes, 29 de diciembre de 2000

El Campo

El anuncio de que AEA y Abengoa construirían una fábrica de bioetanol en Salamanca fue una de las noticias más importantes del tercer trimestre del año; la rectificación de la empresa sobre el lugar de instalación causó cierta polémica, pero, al final, se confirmó que estaría en esta provincia. La celebración de la Agropecuaria, las manifestaciones por el gasóleo y la aprobación de la marca Ternera Charra fueron otros asuntos destacados.

Salamanca tendrá planta de bioetanol

Biocarburantes de Castilla y León invertirá unos 21.000 millones en esta nueva planta

■ La ubicación en Salamanca de una planta de bioetanol ha sido una de las noticias más importantes del año 2000, pero no estuvo exenta de polémica hasta la definitiva confirmación por parte de la empresa.

AEA y Abengoa -Biocarburantes de Castilla y León- anunciaron el 1 de agosto al presidente de la Junta su intención de construir en Castilla y León una planta de bioetanol, en la que invertirían entre 21.000 y 28.000 millones de pesetas. La materia prima de dicha fábrica será de 200.000 hectáreas de cereal y biomasa. Dos días después, AEA comunicó a la CNMV que la fábrica se ubicaría en Salamanca; el sector agrario lo ve con buenos ojos, pero teme que sea una moneda de cambio con la Azucarera.

El motivo de la polémica surgió con la rectificación de AEA sobre el lugar de ubicación. La empresa comunicó a la CNMV que no está decidido el lugar y que se «definió equivocadamente Salamanca», algo que indigna a organizaciones agrarias, sindicatos y partidos políticos, y que crea una «guerra» de declaraciones entre varias provincias de la Comunidad.

A raíz de la rectificación, la Plataforma de la Azucarera convoca una concentración, por el mantenimiento de esta fábrica y para que se instale en Salamanca la planta de bioetanol.

Durante varios días hay reuniones entre la empresa, la plataforma, el Partido Popular... en to-



Una parte de la materia prima de la planta de bioetanol serán los cereales; la fábrica necesitará 300.000 toneladas / ARCHIVO

das ellas la empresa les asegura que la ubicación no está decidida, pero que Salamanca tiene muchas papeletas para acogerla.

Sería en septiembre, concretamente el día 5, cuando Biocarburantes de Castilla y León confirmara la ubicación de la planta: Salamanca. La empresa remite a la Junta de Castilla y León la comunicación de que esta provincia es la más favorable para acoger la futura planta. Se pone fin a la polémica y la Plataforma de la Azucarera desconvoca la concentración.

Datos de la nueva fábrica

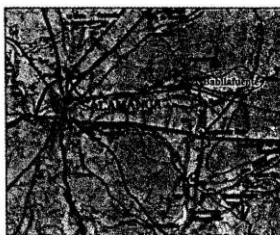
■ La inversión en la planta de bioetanol estará entre los 21.000 y 28.000 millones de pesetas. Las ventas anuales previstas rondan los 18.500 millones. Esta fábrica tendrá como materias primas

300.000 toneladas de cereales al año (100.000 hectáreas) y 435.000 Tm. al año de residuos agrícolas y forestales (biomasa). La fábrica producirá anualmente 200 millones de litros de etanol, con

destino a su mezcla con gasolina sin plomo; 94.800 Tm. de granos secos para la alimentación animal; y 156.000 toneladas de CO₂ que se destinarán a la industria de bebidas carbonáticas.

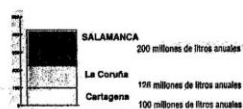
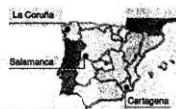
Planta de bioetanol en Salamanca

Criterios de elección



- Disponibilidad de 25 hectáreas de terreno
- Proximidad al río. Son necesarios 300 metros cúbicos de agua a la hora
- Acceso a la línea eléctrica
- Proximidad al ferrocarril
- Facilidad para acceder al gasoducto
- Cercanía a la futura autovía de la Carretera Nacional 601
- Proximidad a la capital (22 km.)

Producción de bioetanol



El bioetanol acecha a la azucarera

La promesa de la fábrica de biocarburantes coincide con el cierre precipitado de la campaña de remolacha

Martes, 2 de enero de 2001

EL MUNDO, LUNES 4 DE DICIEMBRE DE 2000

La reconversión del azúcar

El Gobierno desempolva la reestructuración del sector remolachero

EL MUNDO, LUNES 9 DE OCTUBRE DE 2000
ECONOMÍA

El campo

Jaque a la remolacha

Bruselas pretende suprimir las cuotas nacionales de azúcar en el 2002

ABC CASTILLA Y LEÓN SÁBADO 13-1-2001

La exención del Impuesto de Hidrocarburos da luz verde a la planta de bioetanol

La decisión de la Agencia Tributaria permite que la futura factoría sea rentable

EL MUNDO, DOMINGO 31 DE DICIEMBRE DE 2000
CASTILLA Y LEÓN / ECONOMÍA-SOCIEDAD

La eliminación del impuesto sobre el bioetanol acelera la planta de Salamanca

El Ministerio de Economía «destasa» la gasolina verde y la convierte en un producto rentable

Martes, 26 de septiembre del 2000

LA CRISIS DE LOS CARBURANTES | MUNDO RURAL | III

Las tres compañías alcanzan un acuerdo para impulsar la producción de biocarburante

Repsol se suma al proyecto del bioetanol de Azucarera y Abengoa

El acuerdo conlleva la transformación al año de 226 millones de litros de bioetanol en 550 millones de componente para gasolinas.

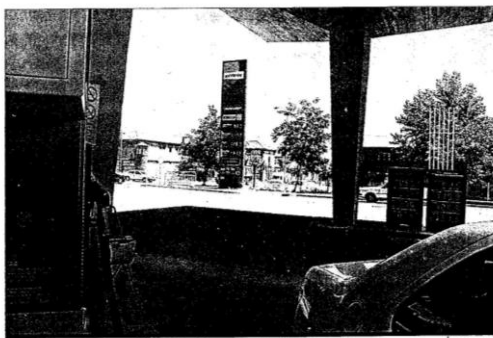
EUROPA PRESS | MADRID

La petrolera Repsol YPF ha llegado a un acuerdo con Azucarera Ebro Agrícolas y Abengoa para desarrollar el uso del etanol procedente de materia prima agrícola (bioetanol) como biocombustible, según informó ayer la compañía, lo que favorecerá la producción de la empresa que Ebro tiene previsto instalar en Salamanca.

Así, estas empresas realizarán proyectos para solventar los problemas técnicos de la mezcla directa de este material, con el fin de producir bioetanol para aprovechar tierras de cultivo adicionales y residuos agrícolas y forestales. Esta iniciativa de Repsol YPF complementa la presentada por Abengoa y Azucarera Ebro en Castilla y León para fabricar este producto.

El bioetanol que se obtiene a partir de la fermentación de cereales, biomasa y otros productos agrícolas, puede utilizarse en la formulación de biocarburantes, tanto de forma directa como transformado, lo que contribuye a una mejora medioambiental.

La empresa petrolera transfor-



Repsol impulsará en los próximos años el consumo de los biocarburantes.

FOTO: ALMEIDA

ma este elemento en sus refinerías de La Coruña y Puertollano, partiendo del bioetanol que produce Ecocarburantes Españoles, filial de Abengoa. Asimismo, una nueva planta situada en La Coruña propiedad de Bioetanol Galicia, también filial de Abengoa, suministrará a las plantas de Repsol YPF en Tarragona y Bilbao a partir de finales del próximo año.

PRODUCCIÓN

El resultado de este acuerdo es la producción de 226 millones de litros anuales (180.000 toneladas) de bioetanol y su conversión en 550 millones de litros (375.000 toneladas) de componente de gasolinas de alto octanaje y de menores emisiones contaminantes.

Además, en 1999 las tres empresas informaron de este proyecto a la Comisión Europea, lo que supuso su incorporación como socios de la iniciativa Campaign for take-Off: The Renewable Energy Partnership, una campaña para difundir y promover las energías renovables en el periodo 1999-2003. En este contexto, el proyecto de Repsol YPF, Abengoa y Azucarera Ebro es candidato a los premios europeos Campaign for Take-Off Awards, que se concederán en octubre.

Las energías renovables jugarán durante los próximos años "un papel importante" para el control del cambio climático, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono, causante del efecto invernadero.

El 12% del consumo europeo será ecológico en el 2003

La Comisión Europea prevé que en el año 2010 las energías renovables cubran el 12% del consumo energético total de la UE y que se alcance una producción de cinco millones de toneladas de biocarburantes líquidos en 2003. A esto se suman las medidas del Gobierno español, comprometido con la utilización de biocarburantes.

EL PAÍS, martes 25 de abril de 2000

España pondrá en marcha dos centrales térmicas pioneras que funcionan con cardos

10.000 hectáreas de cultivo en Burgos y Huesca aportarán combustible para 60.000 personas

INMACULADA G. MARDONES, Madrid
El consumo energético de más de 60.000 personas en Burgos y Huesca será atendido en dos años por dos centrales de biomasa que usarán como combustible el cardo (*Cynara cardunculus*), una herbácea que, modificada genéticamente, alcanza la talla de la caña de azúcar. Las dos promotoras de las plantas ya negocian con los agricultores contratos para garantizar el suministro de paja

a 4,5 pesetas el kilo. La siembra se hace en tierras de abandono subvencionadas por la Política Agraria Comunitaria (PAC) de la UE. Las dos plantas serán las primeras del mundo en quemar paja de cardo.

Las empresas promotoras son SINAE (en la que participan Hidrocarburos, Caja Madrid y Mapfre), con un 40%, y Sufi SA, especializada en aguas y tratamiento de lodos, con el 60%. Está prevista la participación en el futuro de la Caja de Castilla y León, el Banco Zaragozano y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), del Ministerio de Industria. Las dos plantas gemelas se ubicarán en Alcalá de Guerra (Huesca) y Villalbilla de Burgos, y comenzarán a operar dentro de dos años. Cada instalación ocupará 30 hectáreas de terreno. Ya se negocia con agricultores para garantizar el combustible, la paja de cardo.

En esa tarea lleva varias semanas Daniel Serrano, que se está dejando la piel en convencer a los labradores de que sacarán ganando si dedican sus tierras en barbecho a cultivar cardos con semillas regaladas. Recibirán ingresos por partida doble: las subvenciones de la PAC (25.000 pesetas por hectárea en Burgos y 21.000 en Huesca), y las 4.500 pesetas por tonelada de cardo.

Cada una de las plantas consumirá 105.000 toneladas anuales de cardos y paja de cereal para quemarlas y generar 91,2 GW de electricidad anual, el consumo energético de más de 30.000 personas.

Ocho años sin replantar

La siembra se produce antes o después de las heladas y necesita dos años hasta alcanzar el porte ideal. Entonces puede alcanzar hasta tres metros de envergadura y unas profundas raíces, de 7 metros, capaces de buscar nutrientes en el subsuelo y renovar sin replantación la producción de forraje durante siete años consecutivos tras ser cortada anualmente, como la caña de azúcar, cuando aún no está seca del todo.

"No interesa que se pierdan las semillas, porque es la parte con más valor calórico", dice Serrano, ingeniero de Montes, encargado de garantizar 5.000 hectáreas de cardo para cuando comience a operar la térmica de Villalbilla. Ese objetivo no resulta fácil de alcanzar pese a contar con todos los apoyos oficiales y el impulso de la comunidad científica. Se trata de una iniciativa completamente pionera en el mundo, cuyo resultado todavía es una incógnita.

Javier Plaza, técnico agrícola burgalés, cuenta que la primera hectárea que sembraron el año pasado alcanzó 70 centímetros, pero ofrecía dos inconvenientes que ya han podido corregir. Sembraron con poca densidad, lo que ha permitido el desarrollo de troncos excesivamente leñosos para la siega, y el cardo resultó tan dulce que se lo comían los ratones. La cátedra de Producción Vegetal de la Escuela de Agrónomos de Madrid ha logrado una variedad amarga, genéti-

El energético cardo

Esta planta es la herbácea mejor adaptada a la climatología continental española. Su cultivo frena la erosión del suelo y lo protege del uso excesivo de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes. Su gran envergadura la hace ideal para utilizarla como combustible.

Siembra en primavera y otoño temprano.

Las profundas raíces permiten la recolección durante siete años sin necesidad de replantar.

Segado y empacado
Transporte a la planta

La planta de producción de energía

- Funcionamiento: 7.600 horas al año.
- Inversión: 2.639 millones de pesetas.
- Puestos de trabajo directos: 14.

El vapor de agua procedente de la caldera mueve la turbina, que genera 91,2 GWh de energía eléctrica al año con una potencia de 12 MW.

Generador
Turbina de vapor
Gases de escape
Filtro de humos
Chimenea

1. Sala de control.
2. Cuadro eléctrico.
3. Transformador.
4. Oficinas.
5. Aseos y vestuarios.

Las cenizas se utilizan posteriormente como abono.

Fuente: Cultivos Energéticos de Castilla, SA (Oceca), Jesús Fernández González e Instituto Nacional de Meteorología.

N. G. / EL PAÍS

Plantas eléctricas con biomasa de cardo



Condiciones de cultivo

- Espacio mediterráneo, adaptado a veranos secos.
- Pluviometría superior a los 400 mm/año.
- No permite heladas tras el primer mes de la siembra.
- Soporta mal el encharcamiento.
- Prefiere suelos calizos y sueltos.

Las tierras de labor en España ocupan 15,3 millones de hectáreas.

2 millones de hectáreas (13%) se pueden dedicar a cultivos energéticos.

Almacén de pajas. El centro precisa 105.000 Tm de cardo al año. Como complemento también se usa la paja del cereal.

Grúa.

Cinta transportadora para el suministro de las pajas.

En la caldera se quema el cardo seco para hacer bullir el agua.

El gas natural se usa como combustible de apoyo.

El calor de la combustión se puede aprovechar para obtener agua caliente.

Un invento español

I. G. M., Madrid
El cultivo de la variedad de cardo *Cynara cardunculus* es fruto del trabajo desarrollado durante más de 15 años por Jesús Fernández, catedrático de Producción Vegetal de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Fernández está considerado una autoridad europea en mate-

ria de biomasa o cultivos destinados a su combustión para producir energía. Desde su recóndito despacho, próximo al palacio de la Moncloa, el profesor ha dirigido las investigaciones que varios equipos europeos han realizado sobre cultivos energéticos, con ayudas de la Comisión Europea.

Su discreta labor ha sido avalada por el Libro Blanco europeo sobre energías renovables y el Plan de Fomento español. Este último prevé que de los 15,3 millones de hectáreas de tierra de labor podrían destinarse a cultivos energéticos un millón de hectáreas, la mitad de las estimaciones del Libro Blanco.

De estos cultivos, el cardo es el mejor adaptado a la climatología continental española. Tiene una alta productividad y sólo requiere la maquinaria agrícola de uso común. Evita la degradación de los suelos y reduce la contaminación por sus menores necesidades de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas.

camente modificada, que ayu-
nenta a los roedores.

Después de esa experiencia, Javier González Álvarez, de Villafuente (Burgos), ha sembrado 30 hectáreas de cardo. Su única queja es que deberían pagarlo una o dos pesetas más por kilo.

La puesta en marcha de la planta de Huesca lleva un mes de retraso en relación a la de Burgos. Alfredo Til, encargado de contactar con los agricultores, también ha comenzado a firmar contratos. Til y Plaza creen que el éxito del combustible dependerá del

rendimiento de los cultivos. "Si sacan 17.000 toneladas por hectárea, compensará", dice Plaza. "Si es inferior, no. La PAC les regala más de 20.000 pesetas por hectárea de barbecho, por cruzarse de brazos, y el cardo hay que trabajarlo".

MADRID

20 Minutos de Madrid y más
Miércoles, 7 de noviembre de 2001

El vertedero de Valdemingómez se convertirá en un parque como el Retiro

El gas desprendido por la basura se aprovechará para generar electricidad

Un parque forestal de 110 hectáreas sustituirá en 2003 el antiguo vertedero. El gas generado por la descomposición de residuos producirá energía entre 2002 y 2017.

■ A.G.O.

Un parque forestal de 110 hectáreas (sólo ocho menos que el Retiro) sustituirá el viejo basurero de Valdemingómez (Villa de Vallecas). En los terrenos del antiguo vertedero se construirá, además, una planta para generar electricidad y un centro tecnológico medioambiental con biblioteca, sala de conferencias y zona de exposiciones.

Aunque ayer se colocó la primera piedra del proyecto, las obras comenzaron en junio, cuando se empezaron a sellar los 20 millones de toneladas de residuos que se han ido acumulando en Valdemingómez durante los veintidós años que el vertedero estuvo en funcionamiento

to (1978-2000). Hasta el momento se ha sellado el 40% de la superficie del vertedero y se han instalado 180 pozos de captación de biogás (gas procedente de la descomposición de los materiales orgánicos) de los 280 que habrá en total.

Para convertir el biogás en electricidad se construirá una planta transformadora, que comenzará a funcionar en 2002 y continuará produciendo energía hasta 2017. En to-



do ese tiempo, 1.145 millones de kilovatios/hora, suficiente para abastecer durante un año a Teruel, Soria, Segovia y Toledo.

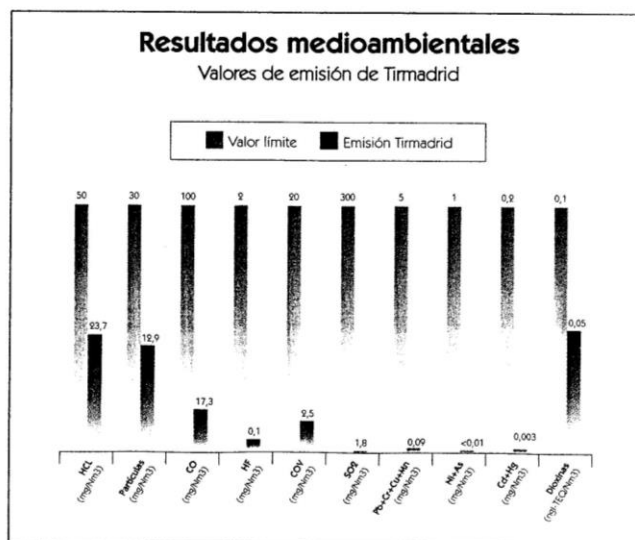
De las mayores del mundo. La máxima producción de energía se dará en el año 2003, cuando se estima que se generarán 140 millones de kw/h, equivalente al consumo de alumbrado público de la capital durante un año. El director de Residuos y Calidad Ambiental del Ayuntamiento, Joaquín Fernández Castro, explicó que Hong Kong es la única ciudad del mundo que dispone de un centro de recuperación de biogás de dimensiones similares al de Valdemingómez.

El parque, que estará terminado en 2003, es la última fase del proyecto para recuperar el antiguo basurero. Para la restauración paisajística se plantarán más de 360.000 árboles y arbustos de las especies más representativas de la comunidad.

Recorridos en tren eléctrico

El proyecto de recuperación del vertedero se completará con la entrada en servicio de un tren eléctrico que recorrerá los diferentes centros de tratamiento de basura ubicados en Valdemingómez, así como el vertedero de inertes, las plantas de tratamiento de lodos y las estaciones regeneradoras de aguas residuales. Además, se organizarán distintos itinerarios para mostrar los procesos con los que cuenta Madrid para la gestión de los residuos sólidos urbanos. Las visitas serán guiadas y en ellas se podrá contemplar el sellado del vertedero, los diferentes ecosistemas representados en la revegetación, puntos de interpretación del paisaje y un centro de observación de avifauna.

DATOS DE EMISIONES DEL VERTEDERO PROPORCIONADOS POR LA EMPRESA QUE LO GESTIONA (TIRMADRID):



MOVILIDAD URBANA / ES MUCHO MENOS CONTAMINANTE Y MAS BARATO

El 40% de los autobuses de la EMT utilizará aceite usado transformado en combustible

Viene de página 1

El aceite usado es más barato que otros combustibles, pero depende de los sistemas de recogida y de su coste final porque, por ejemplo, resulta bastante caro implantar en los hogares sistemas de recogida de aceite de cocina usado.

El Ayuntamiento de Madrid, junto con el IDAE, tiene previstas tres vías de suministro: los restaurantes y hoteles, que ceden sus residuos de aceite gratuitamente, las industrias, que cobran por ellos, y las viviendas.

Esta última opción sería la más cara, como explica el concejal de Movilidad, Sigfrido Herráez: «Hay que hacer una valoración de cuánto puede costar recoger este sobrante de los hogares, porque podría ser demasiado caro, sobre todo su implantación».

Así que dentro de unos años, además de las bolsas amarillas para envases y los contenedores de papel y cristal, podría haber otros para recoger el aceite que sobre de las sartenes madrileñas.

Este tipo de recogida selectiva de basura líquida ya se hace en Alemania, Austria y otros países europeos, pero el Ministerio de Ciencia tiene sus dudas sobre la rentabilidad de implantarlo en España.

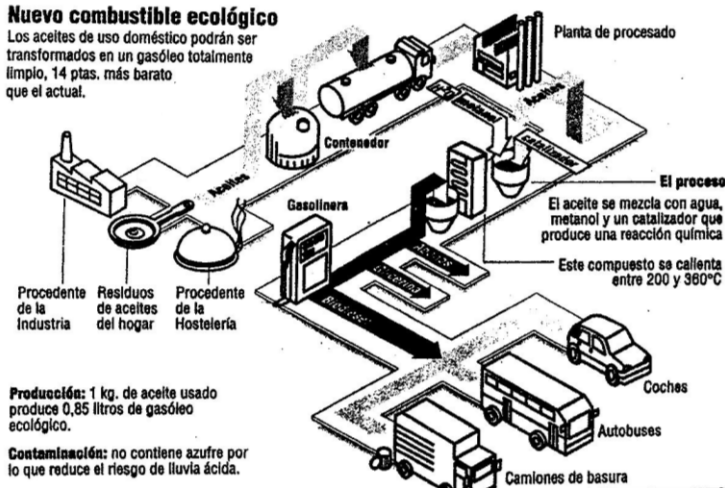
Ventajas

Según el departamento que dirige Anna Birulés, el biocombustible presenta importantes ventajas medioambientales. En primer lugar, no produce azufre ni cloro, casi no emite gases y tiene una emisión neta de anhídrido carbónico (CO₂), muy baja y asumible.

Además, el aceite vertido a las alcantarillas es «un problema biológico de primer orden», según un estudio del Instituto para la Diversificación y el

Nuevo combustible ecológico

Los aceites de uso doméstico podrán ser transformados en un gasóleo totalmente limpio, 14 ptas. más barato que el actual.



FUENTE: Elaboración propia

Ahorro de Energía (IDAE), además de que implica un coste económico, porque no es biodegradable.

Como explican desde el Consistorio madrileño, la idea está muy avanzada. Falta aplicarla a la práctica del transporte público de la capital.

La EMT tiene 1.824 autobuses, de los que 90 son ecológicos, ya que funcionan con gas (70) o son eléctricos (20). Si la experiencia fuera un éxito y se aplicara de forma extensiva, más de 700 vehículos empezarían a usar el nuevo combustible. Eso sí, en la proporción citada de un 30% junto al diesel normal. Los informes del IDAE indican que, de ser buenos los resultados, aumentaría la proporción de biodiesel.

No está decidida la construcción de la planta de tratamiento

de aceite de Madrid porque dependerá del resultado de la de Reus. Sin embargo, de llegar a instalarse, como quieren el Ministerio y el Ayuntamiento, podría evitar el vertido de 55.000 toneladas métricas de vertidos al año.

Además, se dejarían de emitir 138.000 toneladas al año de CO₂ y 850 de SO₂ y la inversión necesaria sería de 2.200 millones de pesetas.

Como destacó Herráez, «no cabe duda de que los beneficios medioambientales son muy importantes», por lo que creyó muy posible su implantación definitiva «cuando estemos seguros de que los autobuses tienen la misma potencia y velocidad que hasta ahora en todas las condiciones».

El equipo que dirige José

María Álvarez del Manzano, alcalde de Madrid, está empleándose en la promoción y difusión de los carburantes menos contaminantes. Esta misma semana, informaron de que los servicios de limpieza y policía están interesados en adquirir motos eléctricas, de muy bajo consumo y que reducen a cero la emisión de humos.

Se trata de una política global coordinada por la Concejalía de Medio Ambiente y de una política horizontal en la que participan gran parte de las áreas municipales. Fuentes del Ayuntamiento explicaron que «esta política va a ir orientada fundamentalmente hacia la electricidad», con lo que el aceite podría ser un paso intermedio entre el gasoil y la extensión de los buses eléctricos.

Alemania tiene ya 1.000 «biogasolineras»

El inventor Rudolf Diesel lo dijo hace ya casi un siglo, en 1912: «El aceite vegetal se convertirá, con los años, en algo tan importante como el petróleo».

Y es que lo que en España es todavía una experiencia piloto se ha convertido, desde hace tiempo, en una realidad rotunda en países como Alemania, Austria o Estados Unidos.

Alemania cuenta con más de 1.000 biogasolineras que suministran gasóleo ecológico procedente del aceite. En Austria, ya hay unas 100 y en Estados Unidos,

cadenas tan importantes como McDonald's ceden 1.100 toneladas de aceite sobrante de sus patatas y hamburguesas para fabricar este combustible.

SEEG, la empresa pionera de este tipo de reciclado en América, ya tiene ideado un sistema para recoger 140 toneladas de aceite al mes de casas, hoteles y restaurantes. Sólo de esos restos, se obtienen 9.000 litros de gasóleo especial al año.

Pero el líder mundial en producción es Austria. Cada año, salen de sus plantas 35.000 tone-

ladas de biodiesel y la experiencia está empezando a ser bastante rentable.

El biodiesel es unas 14 pesetas más barato que el actual y de cada kilo de aceite usado salen 0,85 litros de combustible ecológico.

En España, el IDAE quiere establecer una sociedad compuesta por entes locales, consorcios de transporte y empresas privadas encargadas de recoger los aceites y tratarlos.

Según los primeros objetivos marcados, la planta madrileña debería dar servicio a la

Comunidad de Madrid y a otras tres regiones: Castilla-La Mancha, Castilla y León y Extremadura, siempre dependiendo del número de ciudades que se sumarán a la iniciativa.

El departamento de Ingeniería Química de la Complutense ya ha hecho un estudio sobre el espacio y los servicios que necesitaría la planta de producción de biodiesel de Madrid, con lo que sólo falta comenzar a probar la de Reus, y tomar la decisión definitiva sobre la misma.

España se unirá pronto al grupo de países

productores de biodiesel entre los que también están la República Popular China, Japón y la República Checa.

Según datos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, más del 80% del abastecimiento energético español proviene de energías fósiles, otro 13%, de la nuclear y sólo un 6% de las renovables. Ese 94% no renovable daña gravemente el medio ambiente y produce una fuerte dependencia con respecto al exterior, sobre todo de los países árabes.

VENTAJAS E INCOVENIENTES DEL USO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA:

Realiza una lista de las ventajas e inconvenientes que veas en el uso de las distintas formas de biomasa como fuente de energía alternativa.

VENTAJAS



INCONVENIENTES



BIBLIOGRAFÍA DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Agustench, M., Del Castillo B., Del Barrio, J. I. & Romo, N. (2000). *Física y Química 1º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y la Salud/Tecnología*. Madrid: Ediciones SM.

Asensi Marqués J, Carratalá, S., Herreros, J.A.García- Amorena, E. , García Amorena, L. & García Gregorio, M. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Valencia: ECIR

Delgado, I. Muro, S., Csatro, M.A. & Colmenar, A. (1999). *Energías renovables y medio ambiente* .Serie nuestro mundo. 2º Ciclo. Salamanca: Anaya. ISBN: 8420789674.

Entrena Palomero J., Gual De Torrellá C. & Juarez Fernandez- Reyes A. (1980) "La crisis de la energía. Bases históricas y alternativas" Colección Salvat Temas Clave

EDEBE (1999). *Ciencias de la Tierra y Medioambiente*.

Galindo, A., Savirón, J. M., Moreno, A., J. M. Pastor & Benedi, A. (2000). *Física y Química 1º Bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.

IDAE. (1996). *Energía de la biomasa*. Manuales de energías renovables. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE)

Jarabo Friedrich, F. (1999). *La energía de la biomasa* Madrid: S.A.P.T. Publicaciones Técnicas S.L.

MEC 1999. "El medio Ambiente en la Comunidad de Madrid 97-98" Madrid: Conserjería de Medio Ambiente y desarrollo regional.

Chang, R. & College, W. (2002). *Química*. Mexico: McGraw-Hill

Sauret, M. (1996). *Química COU*. Madrid: Bruño.

Videos de la unidad didáctica:

"Las otras energías" (2000) . Informe semanal .RTVE

"El calor residual como fuente de energía" Fundación Serveis de Cultura. Videos educativos.

"Los biocombustibles".(2001) - El escarabajo verde RTVE-TV2

"La energía"(1993) Serie enclave verde capitulo 24. Telemadrid

Páginas de consulta:

<http://www.energíasrenovables.com>

<http://www.energíasrenovables-larevista.es>

<http://www.bioforum.es>

<http://www.nti.educa.rcanaria.es>

ANEXO III

SITUACIONES PROBLEMÁTICAS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA "REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA"

En el presente anexo se muestran ejemplos de resolución de las situaciones problemáticas planteadas en las dos fases de la investigación.

Se entienden como un ejemplo y punto de partida de lo que los alumnos pueden plantear. De las soluciones posibles se ha escogido una, no por ser la más compleja sino por ser representativa de las respuestas que cabe esperar. En algunos casos, por la importancia de observar diferentes posibilidades en el planteamiento de hipótesis, de estrategias de resolución o de la propia resolución, se presentan varias opciones de respuesta en alguno de esos apartados para una mismo problema.

Las resoluciones propuestas se presentan secuenciadas de la misma forma que los problemas en la Unidad Didáctica, tomando como referencia la fase II por ser la versión final de la investigación.

El orden de aparición de las ejemplificaciones es por tanto el que sigue:

- El problema inicial (P0) que sirvió en ambas fases para comprobar la homogeneidad respecto al grupo control.
- Los problemas abiertos de la fase II siguiendo el orden de la secuencia en la Unidad (al comienzo de cada problema se señala la correlación con los planteados en la fase I).
- Los problemas abiertos utilizados en la fase I (P1,P2,P3 y P7 fase I).que no se trabajan en la fase II

La correlación entre los problemas abiertos planteados en la fase II y los de la I se muestra, junto con los enunciados de los problemas, en el cuadro Anexo III.

PA FII	ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS FASE II	N° en FI
P₁	<input type="checkbox"/> El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere?	--
P₂	<input type="checkbox"/> Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de dióxido de carbono. ¿Cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?	P₄
P₃	<input type="checkbox"/> ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos?	P₅
P₄	<input type="checkbox"/> ¿Se conserva la masa al quemar papel? *	P₆
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz? *	P₈
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol?	P₉
P₇	<input type="checkbox"/> Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas?.	P₁₀
P₈	<input type="checkbox"/> ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible? *	--
P₉	<input type="checkbox"/> Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión. ¿Cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día?	P₁₁
P₁₀ EXA- MEN	<input type="checkbox"/> La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?	P₁₂
	OTROS ENUNCIADOS DE PROBLEMAS ABIERTOS PARA LA FASE I	PA FI
	<input type="checkbox"/> ¿Qué molécula "tiene" mayor energía de formación, la glucosa o el oxígeno?	P₁
	<input type="checkbox"/> ¿Quién tiene mayor energía de formación, el CO ₂ que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende?	P₂
	<input type="checkbox"/> ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua?	P₃
	<input type="checkbox"/> ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera? *	P₇

CUADRO ANEXO III. SECUENCIA ORDENADA DE LOS PROBLEMAS ABIERTOS (PA) QUE CONFORMAN LA UNIDAD DIDÁCTICA “REACCIONES QUÍMICAS Y BIOMASA” PARA LA FASE II, SU NUMERACIÓN CORRESPONDIENTE EN LA FASE I Y LOS PROBLEMAS EXCLUSIVOS PARA LA FASE I. Los problemas señalados con asterisco corresponden a problemas de diseño experimental

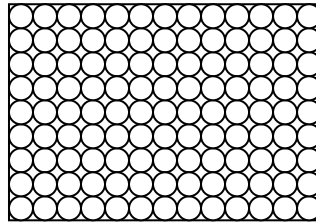
EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P0

¿QUÉ VOLUMEN TIENE UN SÓLIDO?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

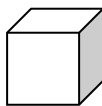
Respecto de la situación problemática planteada podemos decir primeramente que los sólidos poseen volumen constante (salvo situaciones concretas como puede ser una dilatación por efecto de la temperatura).

Los cambios de presión no afectan al volumen de los sólidos pues no hay prácticamente espacio entre las partículas de éste, como podemos observar en una representación microscópica de un sólido en general:

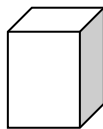


Para averiguar el volumen de un sólido debemos tener en cuenta varias situaciones distintas:

- Si el sólido es un sólido regular podremos calcular su volumen mediante fórmulas algebraicas conocidas, por ejemplo:



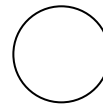
$$V=l^3$$



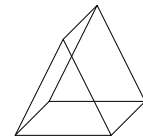
$$V=l^2h$$



$$V=\pi R^2h$$



$$V=4/3\pi R^3$$



$$V=1/3 l \cdot l' \cdot h$$

- Si tenemos los datos de masa y densidad de la sustancia, podemos calcular el volumen mediante la fórmula que los relaciona:

$$\rho=m/V \longrightarrow V=m/\rho$$

- Experimentalmente podemos conocer el volumen de un sólido desplazando un líquido en un recipiente graduado como una probeta. Este caso es especialmente útil para sólidos irregulares aunque también se puede utilizar para sólidos regulares.

Restricciones:

- Para el caso de los sólidos regulares con fórmulas de cálculo matemáticas, necesitaremos conocer o poder medir las dimensiones de éstos.
- Si utilizamos la relación $m-V-\rho$ necesitamos conocer de partida la masa y la densidad. Utilizaremos las tablas de densidades de sustancias conocidas, por lo que en general no podremos utilizar un sólido que no sea de una sustancia pura, de densidad reflejada en alguna tabla de datos accesible (o de una mezcla de densidad perfectamente identificada por sus etiquetas,...)
- El estudio experimental no podremos utilizarlo en el caso de sólidos que se disuelvan en el líquido de inmersión, ni reaccionen con él, ni floten en él, o que simplemente no se puedan introducir en el recipiente de inmersión por sus dimensiones.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Para calcular el volumen tenemos como variables la densidad, la masa y la temperatura. Tomando un mismo sólido y considerando la temperatura y la densidad de este constante, podemos relacionar las variables V y m .

Una hipótesis que las relaciona sería:

Hipótesis 1: “El volumen de un sólido es directamente proporcional a su masa” $V \sim m$

Hipótesis 2 : “ El volumen de un sólido depende de la masa de éste”
 $V=f(m)$

3.- ESTRATEGIA:

Estrategia 1 para H 1:

Conociendo los datos de masa y densidad aplicaremos la formula que relaciona las tres variables $\rho=m/V$

Estrategia 2 para H2:

Mediremos la masa de un sólido en una balanza y mediremos su volumen por desplazamiento de agua en una probeta. Repetiremos la operación con otra muestra del mismo sólido y compararemos resultados.

Necesitamos una probeta, agua, una balanza, cuentagotas, vaso de precipitados y dos muestras del sólido de distinta masa.

4.- RESOLUCIÓN:

Resolución 1 para H1 y estrategia 1:

1.- Aplicamos la fórmula que relaciona las tres variables:

$$\rho = m/V$$

2.- Despejamos el volumen

$$V = m/\rho$$

Resolución 2 para H2 y estrategia 2:

1. Medimos la masa de la muestra de sólido y la anotamos (m_1)
2. Preparamos una probeta rellena con agua hasta un volumen inicial que llamaremos V_o (no llenamos completamente)
3. Introducimos el sólido 1 en la probeta y anotamos el volumen final V_{f1}
4. El volumen del sólido 1 será la resta de ambos: $V_1 = V_{f1} - V_o$
5. Repetimos la operación para la muestra 2: $V_2 = V_{f2} - V_o$
6. Comparamos los resultados V_1 y V_2

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de resultados para H1 y estrategia 1:

Analizando la hipótesis 1 vemos que coincide con el resultado encontrado en la resolución, luego es correcta.

Comprobamos que las magnitudes y las unidades relacionadas son lógicas:

$$V = m/\rho \longrightarrow V = \text{kg}/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} = \text{m}^3$$

Son unidades de volumen, luego la relación parece lógica.

Ejemplo numérico:

¿Qué volumen ocupa un alambre de cobre de 100g de masa? Dato: La densidad del cobre es 8,96g/cm³.

$$V=m/\rho=100\text{g}/8,96\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}=11,16\text{cm}^3=11,16\cdot 10^{-6}\text{ m}^3=1,12\cdot 10^{-7}\text{ m}^3$$

Análisis de resultados 2 para H2 y estrategia 2:

La hipótesis en este punto debe tener la resolución en un caso concreto de laboratorio para comprobarla.

Comprobar el volumen de dos bolas de plastilina de distinto tamaño.

CORRECCIÓN DEL P0

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como volumen de sólidos regulares o densidad.
- Nivel 2: Los alumnos analizan el volumen de sólidos regulares en profundidad o dos aspectos como la forma de medir los sólidos regulares e irregulares o uno de ellos y la relación masa-densidad.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad el volumen de sólidos regulares e irregulares y su forma de medirlo, proponiendo además restricciones como la insolubilidad de los sólidos en agua para métodos experimentales.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos generales (ej.tamaño) sin concretar.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con las dimensiones.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de variables.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida o materiales para la resolución experimental.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

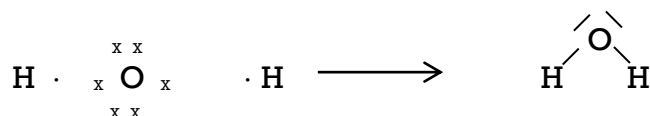
- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 1-FASE II

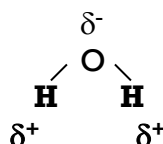
EL PROCESO DE FORMACIÓN DEL AGUA ¿QUÉ CANTIDAD DE ENERGÍA REQUIERE?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

El agua es un compuesto inorgánico de fórmula H_2O . Si representamos las estructuras de Lewis:



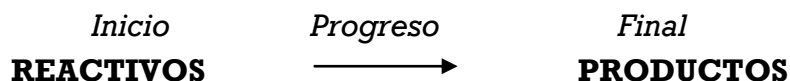
Por tanto, el agua presenta dos enlaces simples H-O y dos pares de electrones sin compartir sobre el oxígeno. La estructura es angular pero el ángulo no coincide con el teórico de las estructuras tetraédricas de las moléculas con hibridación sp^3 ($109,5^\circ$) pues los pares de electrones no enlazantes del oxígeno que repelen los pares de electrones de los enlaces cerrando el ángulo teórico de la estructura. La densidad de carga del enlace H-O se desplaza hacia el oxígeno, más electronegativo, lo que provoca una densidad de carga positiva sobre los hidrógenos y de negativa sobre el oxígeno, por lo que la molécula presenta momento dipolar.



Además, se forman enlaces de hidrógeno entre el oxígeno de una molécula y el hidrógeno de otra, lo que eleva el punto de ebullición, hasta 100°C .

A temperatura ambiente y presión atmosférica, se encuentra en forma líquida y presenta propiedades excepcionales sobre otras moléculas, como un alto calor específico o una mayor densidad en la forma sólida, lo que permite la vida en ríos y lagos.

Las reacciones químicas se representan mediante ecuaciones químicas, en las que podemos identificar los tres momentos:

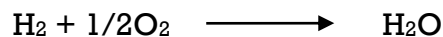


Además, otra información que deben incluir las ecuaciones es el estado físico de las sustancias que intervienen, se expresa entre paréntesis y con abreviaturas:

Sólido (s), líquido (l), gas (g) y en disolución acuosa (aq.).

El calor es la forma de energía más frecuentemente asociada a las reacciones químicas. Para expresar el calor absorbido o liberado en un proceso a presión constante se usa en Química la magnitud llamada entalpía y que se expresa con el símbolo H . Si $\Delta H > 0$ el sistema gana energía, se absorbe energía y si $\Delta H < 0$ el sistema pierde energía, se desprende energía. En el primer caso la reacción se denomina endotérmica y en el segundo exotérmica.

El balance energético entre los enlaces rotos y los formados será la energía asociada a esa reacción.



$$\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \Delta H(\text{H-O}) - \Delta H(\text{H-H}) - 1/2 \cdot \Delta H(\text{O-O})$$

En el caso de partir de átomos constituyentes y no de moléculas de los elementos, la diferencia entre la energía de los átomos aislados y la de la molécula correspondiente será esa energía de formación del compuesto que buscamos. La energía contenida en las sustancias debido a esa situación de enlace, se pone de manifiesto en los procesos químicos en que intervienen.

Si consideramos la formación a partir de los átomos constituyentes y no de las moléculas para conocer la energía de formación de un compuesto recurrimos a las entalpías de enlace, calculadas a partir de la reacción de ruptura de estos y su entalpía asociada, (tendremos que aportar tanta energía para romperlo como energía se desprenda en dicha unión dicha unión). Al formarse una molécula se produce una transferencia de energía de forma que los estados inicial y final tienen diferente energía interna, esa diferencia es la energía de enlace.

La energía de cada compuesto depende del número y la naturaleza y tipo de los enlaces químicos que posee, en el agua 2 enlaces H.

Restricciones:

- Realizaremos el estudio sobre una única molécula para evitar las influencias de las fuerzas intermoleculares.
- Consideraremos la formación de la molécula a partir de los átomos constituyentes y no de los elementos en su estado natural.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

La energía requerida depende de la cantidad de sustancia, del tipo de unión entre los átomos, nº de uniones y del estado físico de las sustancias.

Hipótesis: La energía requerida depende del nº y tipo de enlaces presentes.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Si consideramos la formación de la molécula a partir de los átomos constituyentes y no de los elementos en su estado normal, calculamos la energía de formación mediante la utilización de tablas de valores de energía de enlace: Necesitamos saber las entalpías de enlace H-O (y conocer el N_A). Calculamos el nº de enlaces de cada clase que hay en cada molécula y con los valores de energía de enlace calculamos la energía por mol. Si las entalpías vienen en kJ/mol dividimos por el número de Avogadro para calcular la de una molécula, y comparamos (también podemos comparar por mol).

4. -RESOLUCIÓN

Seguimos los siguientes pasos:

1. Calculamos la cantidad de enlaces distintos presentes en cada molécula:

Enlaces en el agua: 2 H-O

2. Vamos a las tablas de entalpías de enlace y calculamos la energía total de la molécula

$$\Delta H(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \Delta H(\text{H-O}) \quad (\text{kJ/mol})$$

3. Calculamos energía necesaria para formar una molécula de cada clase:

$$\Delta H_{H_2O} = H(H_2O)(\text{kJ/mol}) / N_A = 2 \cdot H(H-O) / N_A \quad (\text{kJ})$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La hipótesis es correcta, La entalpía de formación depende del tipo de enlaces presentes. Además, la unidad es el kJ, resultado lógico pues es un tipo de energía.

Ejemplo numérico:

¿ Cuánta energía se necesita para formar una molécula de agua a partir de sus átomos constituyentes?

$$\begin{aligned} \Delta H_{H_2O} &= H_f(H_2O)(\text{kJ/mol}) / N_A = 2 \cdot H(H-O) / N_A \quad (\text{kJ}) = \\ &= 2 \cdot 498 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = \\ &= 996 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = \\ &\mathbf{1,65 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/molécula}} \end{aligned}$$

CORRECCIÓN DEL P 1-FASE II

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de las moléculas o bien del enlace.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras de las moléculas y mencionan la energía de enlace.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad la estructura del agua. Analizan la reacción de formación como una situación de transferencia energética, hablando de la entalpía del proceso. Además proponen restricciones, como $P=\text{constante}$ para utilizar entalpías, encontrarse las moléculas en estado gaseoso para poder utilizar las tablas de entalpías de disociación y no considerar los puentes de H entre moléculas.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la entalpía.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de entalpía y concretan que su estudio es para una molécula o para 1 mol de estas.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo las entalpías de enlace.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis (ej. si habla de moléculas o de moles).
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLOS DE RESOLUCIÓN PARA EL P 2-FASE II-P4 FASE I

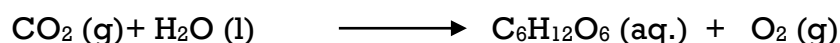
SI UNA DETERMINADA PLANTA LA RIEGAS Y LA INTRODUCES EN UN RECIPIENTE TRANSPARENTE Y HERMÉTICO QUE CONTIENE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE DIÓXIDO DE CARBONO, ¿CUÁNTA GLUCOSA ES CAPAZ DE ELABORAR LA PLANTA SI LA SITUAMOS AL SOL?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

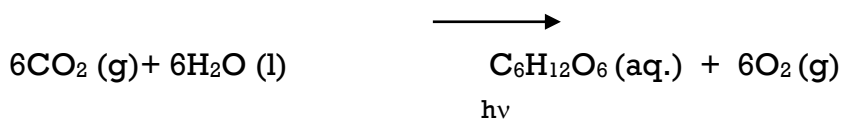
Las plantas son seres autótrofos, es decir, sintetizan su propia materia orgánica a partir de materia inorgánica por medio de la fotosíntesis. A través de las raíces toman agua y sales minerales disueltas en ella, y a través de las hojas el CO_2 . A partir de estos nutrientes y por medio de la luz se produce en los cloroplastos la fotosíntesis.

Entre las sustancias que son capaces de elaborar en un primer proceso, se encuentra la glucosa que posteriormente dará lugar a otros compuestos.

La glucosa, de fórmula $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ se sintetiza a partir del CO_2 según la reacción:



Ajustando:



Por otra parte el CO_2 es un gas a temperatura ambiente, lo que indica probablemente la información sobre él se refiera a volumen, y tendríamos que tener en cuenta las condiciones de P y T.

El sistema es un sistema cerrado pues no intercambia materia con el exterior, no es aislado pues si intercambia energía (luz solar y energía térmica en lo posible).

Restricciones:

- Suponemos que el CO_2 forma glucosa y no otros compuestos. El rendimiento de la reacción es 100%.
- El agua y la luz están en exceso, el reactivo limitante es el CO_2 .
- La atmósfera en la que se encuentra inmerso es de 100% CO_2 .

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Podemos resolver el problema desde varias hipótesis:

Hipótesis 1: La masa de glucosa obtenida es proporcional a la masa de CO_2 que se introduce.

Hipótesis 2: La masa de glucosa obtenida es proporcional al volumen de CO_2 que se introduce.

Hipótesis 3: La masa de glucosa obtenida depende del rendimiento de la reacción.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Las estrategias para cada hipótesis serían

Estrategia 1 para H1:

Partiendo de una masa de CO_2 , previamente calculamos la cantidad de sustancia de CO_2 . Luego establecemos una relación entre moles según la ecuación química que representa la reacción. Cuando sabemos los moles de glucosa calculamos su masa. Necesitamos conocer:

- Masa de CO_2 introducida.
- Masa atómica del C, H y O.

Estrategia 2 para H2:

Partiendo de un volumen de CO_2 , previamente calculamos la cantidad de sustancia de CO_2 con la ecuación de los gases ideales. Luego establecemos una relación entre moles según la ecuación química que representa la reacción. Cuando sabemos los moles de glucosa calculamos su masa. Necesitamos conocer:

- Volumen de CO_2 introducido.
- Condiciones de P y T
- Masa atómica del C, H y O
- Constante R de los gases ideales

Estrategia 3 para H3:

Por cualquiera de los procedimientos anteriores calculamos la masa de glucosa y luego aplicamos el %: $m_{\text{glucosa}} = m_{\text{glucosa teórica}} \cdot (\% \text{ rendimiento} / 100)$

Necesitamos conocer:

- Volumen de CO₂ introducido.
- Condiciones de P y T
- Masa atómica del C, H y O
- Constante R de los gases ideales
- Rendimiento de la reacción (%)

4.- RESOLUCIÓN

Para cada una de las estrategias anteriores seguimos unos pasos de resolución diferentes:

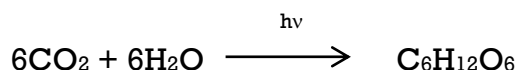
Resolución 1 para H1 y estrategia 1

Seguimos los pasos:

1. Calculamos la cantidad de sustancia de CO₂

$$n_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} / M_{\text{CO}_2}$$

2. Escribimos la ecuación ajustada :



3. Si 6 mol dan lugar a 1 mol glucosa:

$$n_{\text{gluc.}} = n_{\text{CO}_2} \cdot \frac{1 \text{ mol gluc.}}{6 \text{ mol CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{1}{6} (\text{mol gluc.})$$

- 1- Calculamos la masa:

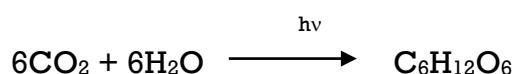
$$m_{\text{gluc.}} = n_{\text{gluc.}} \cdot M_{\text{gluc.}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{6M_{\text{CO}_2}} \cdot M_{\text{gluc.}} \cdot (g_{\text{de gluc.}})$$

Resolución 2 para H2 y estrategia 2:

- 1- Calculamos la cantidad de sustancia de CO₂ a partir de la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot V = nRT \Rightarrow n = \frac{P \cdot V}{RT}$$

- 2- Escribimos la ecuación ajustada:



- 3- Si 6 mol dan lugar a 1 mol glucosa:

$$n_{gluc.} = n_{CO_2} \cdot \frac{1 \text{ mol gluc.}}{6 \text{ mol } CO_2} = \frac{PV}{6RT} (\text{mol gluc.})$$

4- Calculamos la masa:

$$m_{gluc.} = n_{gluc.} \cdot M_{gluc.} = \frac{PV}{6RT} M_{gluc.} (g \text{ de gluc.})$$

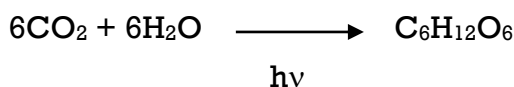
Resolución 3 para H3 y estrategia 3:

Seguimos los siguientes pasos:

1. Calculamos la cantidad de sustancia de CO_2

$$n_{CO_2} = m_{CO_2} / M_{CO_2}$$

2. Escribimos la ecuación ajustada :



3. Si 6 mol dan lugar a 1 mol glucosa:

$$n_{gluc.} = n_{CO_2} \cdot \frac{1 \text{ mol gluc.}}{6 \text{ mol } CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} \cdot \frac{1}{6} (\text{mol gluc.})$$

4. Calculamos la masa:

$$m_{gluc.} = n_{gluc.} \cdot M_{gluc.} = \frac{m_{CO_2}}{6M_{CO_2}} \cdot M_{gluc.} (g \text{ de gluc.})$$

5. Corregimos el rendimiento material:

$$m_{gluc.} \text{ real} = m_{gluc.} \text{ teórico} \cdot \frac{r}{100} = \frac{m_{CO_2}}{6M_{CO_2}} \cdot M_{gluc.} (g \text{ de gluc.}) \cdot \frac{r}{100}$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de resultados 1 para H1 y estrategia 1:

La hipótesis 1: es correcta, la masa de glucosa obtenida es directamente proporcional a la masa:

Ejemplo numérico:

Si una planta determinada la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene 5g de CO_2 . ¿Cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?

$$m_{gluc.} = m_{CO_2} \times \frac{M_{gluc.}}{6M_{CO_2}} = \frac{5g \cdot 180(g/mol)}{6 \cdot 44(g/mol)} = \frac{900g}{264} = 3,4g \text{ de glucosa}$$

Análisis de resultados 2 para H2 y estrategia 2:

La hipótesis 2 es correcta, la masa de glucosa obtenida es proporcional al volumen que se introduce.

Ejemplo numérico:

Si una planta determinada la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene 10ml de CO₂ medidos en condiciones normales ¿Cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol?

$$m_{gluc.} = n_{gluc.} \cdot M_{gluc.} = \frac{PV}{6RT} M_{gluc.} (g_{de} gluc) = \frac{1(atm.) \cdot 0,01(l) \cdot 180(g/mol)}{6 \cdot 0,082(atm.l/k.mol) \cdot 273k} = 13,4mg$$

Análisis de resultados 3 para H3 y estrategia 3:

La hipótesis 3 es correcta pues no solo podemos decir que la masa de glucosa obtenida depende del rendimiento de la reacción, sino que además es directamente proporcional a él.

Ejemplo numérico:

Si una planta determinada la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene 5g de CO₂ .¿Cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol si tan sólo el 80% del CO₂ es utilizado para este proceso y el 20% restante formó otros productos?

$$m_{gluc.} = m_{CO_2} \times \frac{M_{gluc.}}{6M_{CO_2}} = \frac{5g \cdot 180(g/mol)}{6 \cdot 44(g/mol)} = \frac{900g}{264} = 3,4g \text{ de glucosa al } 100\%$$

$$\text{Al } 80\%: \quad m_{glucosa} = 3,4g \cdot 80/100 = 2,72g$$

En todos los casos las unidades que resultan son correctas respecto de la magnitud que queríamos calcular.

CORRECCIÓN DEL P 2-FASE II-P 4-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos de la fotosíntesis.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la reacción química que tiene lugar en este caso y la ajustan. Reconocen la importancia del CO_2 y del agua en el proceso.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad la reacción, reconocen cual es el reactivo limitante y el exceso y pone restricciones, como tener agua en exceso, que la reacción se de al 100%, que los reactivos sean puros,....

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar, o enumera los factores sin concretar ninguno (ej. "La planta elabora toda la glucosa posible hasta que se le acaben las materias primas").
- Nivel 2: Plantean hipótesis concretas pero en términos de moles, de masa o de concentración (ej: "A mayor concentración en masa de CO_2 mayor masa de glucosa").
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de masa para la glucosa y volumen para el CO_2

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen tan solo algún paso de la posible resolución o solo indican los factores a tener en cuenta.
- Nivel 2: Los alumnos explican su estrategia de forma clara pero escasa
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. Además de una estrategia clara, plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo la masa de CO_2 .

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ninguna fórmula ni desarrollo. También consideraremos en este nivel los que concretan el problema con ejemplos numéricos.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto por fallar algún concepto químico importante.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la situación pero la concreción en un ejemplo no termina de coincidir con su hipótesis, aunque es correcta respecto al enunciado.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

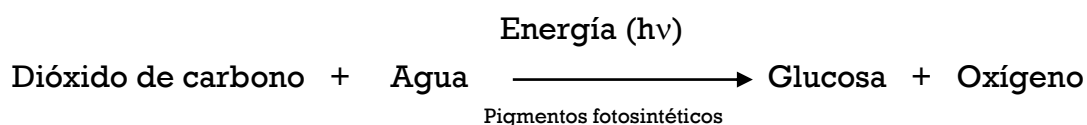
EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 3-FASE II-P5 FASE I

¿QUÉ APOORTE DE ENERGÍA SOLAR NECESITAN LAS PLANTAS VERDES PARA FORMAR ALIMENTOS?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

Las plantas verdes, a través de la fotosíntesis, sintetizan diversos compuestos orgánicos (fundamentalmente glúcidos) a partir de otros inorgánicos como son, básicamente, dióxido de carbono y agua, junto con sales minerales que aportan nitrógeno, fósforo, potasio,... En el proceso se transforma energía luminosa en energía química.

Uno de primeros y principales compuestos sintetizados es la glucosa, en ese caso:



La glucosa es un compuesto orgánico de fórmula empírica $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Por otro lado podemos decir que es una aldohexosa y un polialcohol.. En las plantas, al encontrarse en medio acuoso, la estructura es la representada en la figura 1 , que se denomina ciclada, para diferenciarla de la estructura lineal (en ausencia de agua), figura 2.:

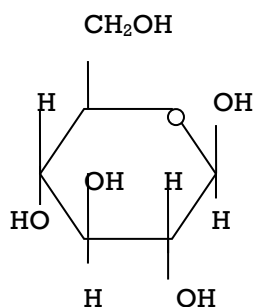


Figura 1

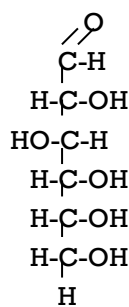
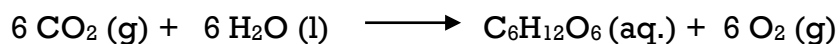
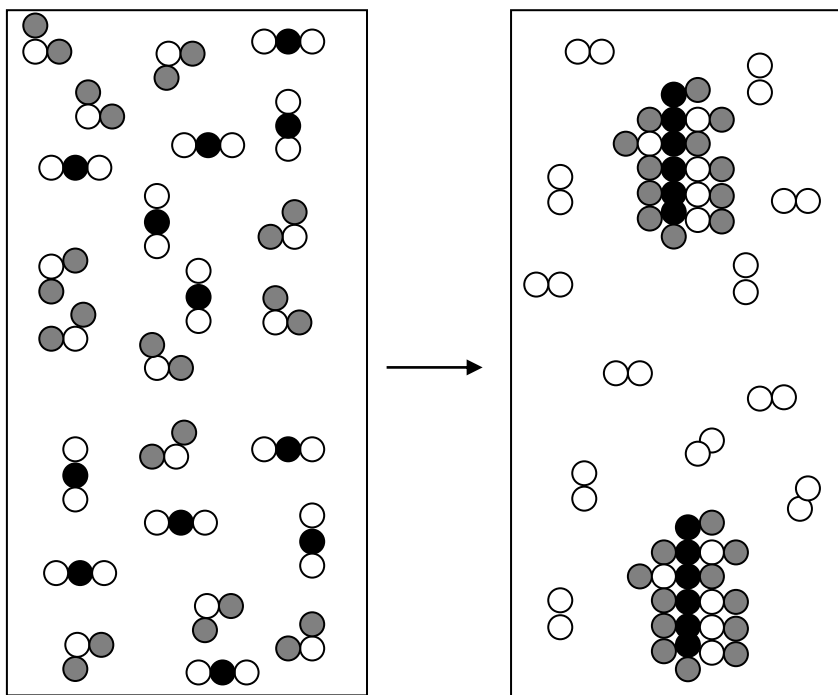


Figura 2

Ajustando la ecuación:



La representación microscópica de la reacción, sin excesos de ningún reactivo sería:



La diferencia entre la energía interna de los reactivos y la de los productos aislados será esa energía empleada en el proceso. La entalpía de formación va a reflejar esa energía necesaria para la transformación que consistirá en la ruptura de unos enlaces y formación de otros.

Por otro lado la energía solar que recibe la planta no es utilizada al 100% para la transformación efectiva de la fotosíntesis. Combinando las pérdidas energéticas con las del rendimiento en las reacciones tenemos que el rendimiento energético de la fotosíntesis será aproximadamente de un 8% sin contar con el propio gasto de subsistencia de la planta.

Restricciones:

- Es necesario conocer la entalpía de formación de la glucosa, ya que las tablas de entalpías de disociación de enlaces

covalentes se refieren a moléculas gaseosas y la glucosa no lo es.

- Restringimos el estudio a la formación de glucosa.
- Podemos considerar la formación de glucosa al 100%. Si no es así, necesitamos conocer el rendimiento de la reacción respecto a todos los demás productos formados.
- Necesitamos conocer el rendimiento energético de la reacción de fotosíntesis.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

La energía requerida en el proceso de formación de la glucosa depende de la eficacia de realizar dicha transformación por la planta, de las transformaciones no deseadas en calor, de la proporción de energía luminosa que tiene la longitud de onda adecuada para ser transformada por la planta, de los tipos de enlaces presentes en las sustancias iniciales y finales, de la masa que pretendamos obtener,...

Una hipótesis que las relaciona sería:

Hipótesis 1: “La cantidad de energía requerida por las plantas para formar glucosa será proporcional a la masa que se forme”

Hipótesis 2: “La cantidad de energía (J) requerida por las plantas para formar glucosa será proporcional a la eficacia del proceso de transformación energética, medido como rendimiento energético”

3.- ESTRATEGIA:

Estrategia 1 para H1 y H2:

Vamos a calcular la masa de glucosa que se va a sintetizar y calcularemos la cantidad de sustancia. Realizaremos los cálculos estequiométricos que relacionan la entalpía de la reacción (por mol) con nuestro caso. Esta sería la energía requerida si fuese al 100% pero si hay transformaciones energéticas no deseadas, como es el caso, introduciremos la corrección del rendimiento energético.

Necesitamos conocer el % de transformación energética en energía química, la masa de glucosa a sintetizar y el valor de la entalpía de la reacción de formación de la glucosa a partir de CO₂ y H₂O.

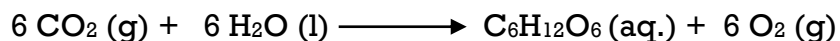
4.- RESOLUCIÓN:

Resolución 1 para ambas hipótesis

1. Calculamos los moles de glucosa que tenemos:

$$n_{GLU} = \frac{m_{GLU}}{M_{GLU}}$$

2. Escribimos y ajustamos la ecuación química de la formación de la glucosa a partir de dióxido de carbono y agua:



3. Relacionamos estequiométricamente con la entalpía de la reacción:

$$E = \Delta H \cdot n_{GLU}$$

4. Introducimos la corrección del rendimiento energético:

$$E_{sol} = E \cdot \frac{100}{r}$$

5. Juntando las ecuaciones de los pasos 1 a 4 tenemos:

$$E_{sol} = E \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot n_{GLU} \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot \frac{m_{GLU}}{M_{GLU}} \cdot \frac{100}{r}$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de resultados 1 para hipótesis 1 y estrategia 1:

Analizando la hipótesis 1 comprobamos que coincide con el resultado encontrado en la resolución (E es directamente proporcional a la m_{GLU}), luego es correcta.

Comprobamos que las magnitudes y las unidades relacionadas son lógicas (energía en julios o kilojulios):

$$E_{sol} = \Delta H \cdot \frac{m_{GLU}}{M_{GLU}} \cdot \frac{100}{r}$$

$$E = \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{\text{g}}{\text{g/mol}} = \text{kJ}$$

Ejemplo numérico:

¿Cuánta energía será necesaria para que las plantas verdes sinteticen 10g de glucosa? Datos: El 8% de la energía luminosa es la transformada en química en la fotosíntesis. En la reacción de formación de glucosa en la fotosíntesis $\Delta H = 2801 \text{ kJ/mol}$

$$E_{sol} = E \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot n_{GLU} \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot \frac{m_{GLU}}{M_{GLU}} \cdot \frac{100}{r} = 2801 \text{ kJ/mol} \cdot \frac{10 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} \cdot \frac{100}{8} = 1444,4 \text{ kJ}$$

Análisis de resultados 2 para hipótesis 2:

Se siguen los mismos pasos que para el análisis 1 y se continúa relacionando las ecuaciones de los pasos 1 a 4 tenemos:

$$E_{sol} = E \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot n_{GLU} \cdot \frac{100}{r} = \Delta H \cdot \frac{m_{GLU}}{M_{GLU}} \cdot \frac{100}{r}$$

Analizando la hipótesis 1 vemos que coincide con el resultado encontrado en la resolución (la energía requerida es inversamente proporcional al rendimiento energético r, a mayor r % menos energía se necesita), luego es correcta.

La comprobación de unidades y el ejemplo es idéntico al caso 1.

CORRECCIÓN DEL P3-FASE II-P5-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de las moléculas o bien del enlace.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras de las moléculas y mencionan la energía de enlace. También hablan de conservación y transformación de la energía o rendimiento, pero no ambos.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad las estructuras posibles de la glucosa tanto lineal como en disolución y la del oxígeno. Analizan la reacción de formación como una situación de transferencia energética, hablando de la entalpía del proceso. Consideran la conservación de la masa y energía, aclarando el concepto de rendimiento energético. Además proponen restricciones, como formarse glucosa exclusivamente o conocer la entalpía de la reacción pues las moléculas no se encuentran en estado gaseoso para poder utilizar las tablas de entalpías de disociación.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar. Ej. “la energía depende de la cantidad de glucosa”.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la entalpía o al menos mencionan los julios necesarios, pero se quedan en términos de masa de la glucosa, sin considerar rendimiento energético. Ej. “los julios necesarios serán función de los moles de glucosa.”
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de entalpía y rendimiento energético, además concretan su estudio para una molécula o para 1 mol de estas. Ej. “los julios necesarios para formar una molécula de glucosa son directamente proporcionales al rendimiento energético del proceso”.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo las entalpías de enlace.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores.

- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis (ej. si habla de moléculas o de moles o si habla de masa y resuelve por rendimiento).
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P4-FASE II-P6 FASE I

¿SE CONSERVA LA MASA AL QUEMAR PAPEL?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

En cualquier reacción química no nuclear se conserva la masa, según la ley de Lavoisier: “en una reacción química la masa de los reactivos es igual a la masa de los productos de reacción”. El sistema debe ser cerrado por si se forman productos gaseosos, para no perder ningún producto y que la cuantificación de las masas sea correcta.

Una reacción de combustión consiste la combinación de una sustancia con el oxígeno. El papel está compuesto básicamente por celulosa, un polímero de la glucosa:



En su combustión originará CO_2 y agua.



La masa del papel antes de quemarse debe ser igual a la masa de los productos originados.

Restricciones:

- Consideramos que el papel es 100 % celulosa, aunque al cuantificar la masa de reactivos y productos por separado no influye la existencia de impurezas.
- La reacción se llevará a cabo en un sistema cerrado.

2. -EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: La masa de los reactivos es igual a la masa de los productos.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia : Experimental

Introduciremos el papel en un recipiente cerrado donde lo quemaremos y mediremos el peso (masa) antes y después de la combustión.

Necesitamos: balanza, papel, frasco de cristal, cerillas, nitrato potásico.

4.- RESOLUCIÓN

Realizamos las siguientes actuaciones:

1. Introducimos el papel en el recipiente y colocamos una mecha lenta para que nos de tiempo a cerrar herméticamente el sistema antes de que comience a arder. Se puede impregnar el papel con nitrato potásico para que arda mejor ya que aporta oxígeno. En el tapón se coloca un globo para recoger los gases de combustión (y se pueda expandir el sistema sin que alcance una presión excesiva).
2. Cerramos herméticamente el sistema tras encender la mecha lenta y pesamos el sistema (m_1).
3. Tras la combustión pesamos de nuevo el sistema (m_2).
4. Compararemos las dos medidas para ver si hay pérdidas $\Delta m = m_2 - m_1$. Si $\Delta m = 0$ se conserva la masa.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras la medición de laboratorio, si m_1 es igual a m_2 , la hipótesis es correcta.

CORRECCIÓN DEL P4-FASE II-P 6-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de la conservación de la masa o bien de la combustión.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras del papel, explican en qué consiste la combustión y hablan de conservación de la masa.
- Nivel 3: Los alumnos analizan la composición y estructura de los polímeros de la celulosa. Explican la reacción de combustión que representan y ajustan. Conocen la Ley de conservación de la masa. Comprenden la necesidad de conocer y controlar en cada situación el tipo de sistema que tengamos por lo que proponen restricciones como encontrarse en un sistema cerrado.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de se conserva o no.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la masa.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de masa reactivos y productos y tipo de sistema.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo las entalpías de enlace.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores.
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis o estrategia.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 5-FASE II-P8 FASE I

¿CUÁNTO ACEITE COMBUSTIBLE OBTENGO DEL MAÍZ?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

Del maíz podemos extraer aceites vegetales que pueden servir como combustible alternativo a los usados comúnmente.

El grano de maíz contiene aceite en su composición que se puede extraerse de la mezcla mediante métodos físicos (que no alteran la identidad química de los constituyentes).

El aceite es una sustancia apolar, luego se disolverá en disolventes apolares como el hexano o la gasolina. Las sustancias polares presentes en el grano de maíz se disolverán en disolventes polares como el agua.

La extracción de sustancias apolares de una mezcla se puede realizar mediante un embudo de decantación tradicional, en el que se formen dos fases: una polar y otra a polar, que separaremos con este aparato.

Restricciones:

- El grano debe ser natural, no tostado, para que conserve todos sus componentes. Puede ser seco o de mazorca (este último contiene más agua y será menos recomendable para la extracción).

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis 1: La cantidad de aceite recogido es proporcional a la masa inicial de grano de que partimos.

Hipótesis 2: La cantidad de aceite recogida no depende de si el grano de maíz natural es seco o es fresco.

Hipótesis 3: La cantidad de aceite recogida depende del disolvente escogido.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia 1: Experimental

Con un embudo de decantación y un disolvente orgánico, como la gasolina o el hexano, extraeremos el aceite y compararemos distintas masas.

Necesitamos: molinillo, hexano, embudo de decantación, embudo, papel de filtro, balanza, dos vasos de precipitados y maíz.

Estrategia 2: Experimental

Con un embudo de decantación y un disolvente orgánico, como la gasolina o el hexano, extraeremos el aceite. Haremos dos pruebas, una con maíz fresco y otra con maíz seco.

Necesitamos: molinillo, mortero, hexano, embudo de decantación, embudo alemán, papel de filtro, balanza, dos vasos de precipitados y maíz seco y fresco de mazorca.

Estrategia 3: Experimental

Con un embudo de decantación y un disolvente orgánico, como la gasolina o el hexano, extraeremos el aceite. Haremos extracciones con disolventes polares y apolares.

Necesitamos: mortero, distintos disolventes, embudo de decantación, embudo alemán, papel de filtro, balanza, dos vasos de precipitados y maíz fresco de mazorca.

4.- RESOLUCIÓN

Resolución 1 para H1 y estrategia 1:

Seguiremos los siguientes pasos:

1. Molemos el grano en un molinillo.
2. Pesamos una cantidad determinada que vamos a utilizar (m grano).
3. Agitamos dicha masa con una mezcla al 50 % de agua y hexano.
4. Se filtra la mezcla anterior.
5. Se introduce la fase líquida en un embudo de decantación.
6. Se deja reposar.
7. Recogemos la parte apolar.

8. Dejamos evaporar el disolvente.
9. Pesamos el aceite obtenido.
10. Se observan los resultados partiendo de distintas masas de grano inicial.

Resolución 2 para H2 y estrategia 2:

Seguiremos los siguientes pasos:

1. Molemos el grano seco en un molinillo.
2. Pesamos una cantidad determinada que vamos a utilizar (m grano seco).
3. Agitamos dicha masa con una mezcla al 50 % de agua y hexano.
4. Se filtra la mezcla anterior.
5. Se introduce la fase líquida en un embudo de decantación.
6. Se deja reposar.
7. Recogemos la parte apolar.
8. Dejamos evaporar el disolvente.
9. Pesamos el aceite obtenido.
10. Repetimos la operación para el grano fresco (m grano fresco).

Resolución 3 para H3 y estrategia 3:

Seguiremos los siguientes pasos:

1. Molemos el grano en un molinillo.
2. Pesamos una cantidad determinada que vamos a utilizar (mg).
3. Agitamos dicha masa con una mezcla al 50 % de agua y hexano con un volumen determinado.
4. Se filtra la mezcla anterior.
5. Se introduce la fase líquida en un embudo de decantación.
6. Se deja reposar.
7. Recogemos la parte apolar.
8. Dejamos evaporar el disolvente.
9. Pesamos el aceite obtenido.
10. Repetiremos la operación utilizando una mezcla con otros disolventes apolares.

11. Para disolventes polares se añade la cantidad de disolvente al maíz sin añadirle agua y filtraremos. Se deja evaporar disolvente y se pesa, recogiendo los datos.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuando se realice la experimentación se comparan resultados:

Análisis de resultados 1 para H1 y estrategia 1:

Ejemplo numérico:

¿Cuánto aceite obtenemos a partir de 10 g de maíz y a partir de 20g?

Si al hacer la experimentación las cantidades, en masa, de aceite obtenidas aumentan con la cantidad de masa inicial de grano, la hipótesis es correcta.

Análisis de resultados 2 para H2 y estrategia 2:

Ejemplo numérico:

¿Cuánto aceite obtenemos a partir de 10 g de maíz?

Si al hacer la experimentación las masas de aceite obtenidas son idénticas y no dependen del tipo de grano utilizado, la hipótesis es correcta.

Análisis de resultados 3 para H3 y estrategia 3:

Ejemplo numérico:

¿Cuánto aceite obtenemos a partir de 10 g de maíz?

Si al hacer la experimentación las masas de aceite obtenidas son idénticas diferentes según el disolvente utilizado, la hipótesis es correcta.

CORRECCIÓN DEL P 5-FASE II-P 8-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien del aceite o bien de algún método.
- Nivel 2: Los alumnos reconocen en qué consiste un método físico y uno químico y señalan la necesidad de conocer la naturaleza del aceite para su separación
- Nivel 3: Los alumnos analizan la naturaleza de las sustancias polares y apolares y diferencian métodos físicos y químicos de separación. Comprenden la necesidad de conocer y controlar la naturaleza de los disolventes a utilizar según la sustancia a tratar. Además, explican en qué consiste algún posible método de separación de forma teórica como es la extracción.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la masa.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de masa o volumen recogido en función de la naturaleza del disolvente (polar o apolar) utilizado o el tipo de maíz de partida (fresco, tostado, en lata,...)

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis.
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando los pasos a seguir con el método a utilizar,...

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis o estrategia. Si hablan de disolventes, al final solo lo hacen para uno sin comparar.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P6-FASE II-P9 FASE I

¿CUÁNTO AIRE NECESITO PARA QUEMAR ETANOL?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

El etanol es un compuesto orgánico perteneciente al grupo de los alcoholes alifáticos. Su fórmula empírica es C_2H_6O . Al ser un alcohol posee un grupo $-OH$, y su fórmula semidesarrollada es:

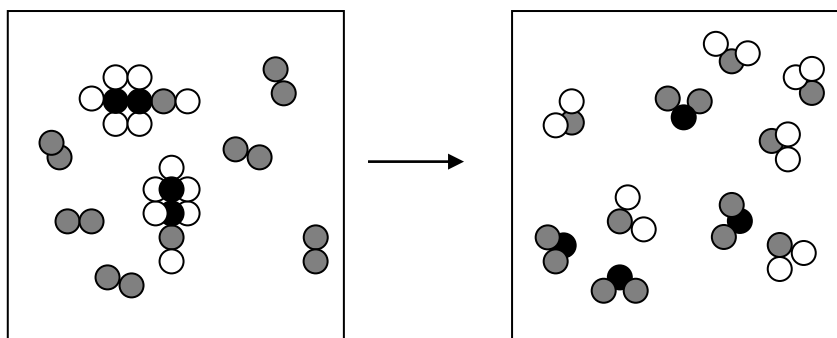
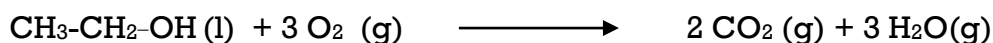


Es un compuesto líquido a temperatura ambiente, lo que tendremos en cuenta para calcular las masas a partir de la densidad.

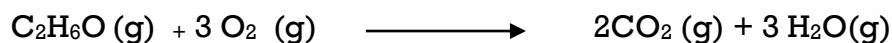
Analizando la situación problemática propuesta, podemos decir que se trata de una reacción de combustión (caso particular de reacción de oxidación-reducción o reacción redox en la que el agente oxidante es el oxígeno, en este caso va contenido en el aire).

Los posibles productos de la reacción pueden ser muy diversos, dependiendo de si la reacción de combustión es total (obteniéndose CO_2 y H_2O) o parcial (entre cuyos productos tendríamos CO).

Si restringimos la situación a la reacción de combustión total tendremos:



Al ser una reacción exotérmica el propio calor de la reacción hace que el etanol pueda encontrarse en estado gaseoso al combinarse con el oxígeno, por lo que podría considerarse la reacción en fase homogénea:



Por otra parte, al ser el aire una mezcla homogénea de distintos gases, siendo uno de ellos el oxígeno, deberemos conocer su proporción (% riqueza en oxígeno del aire $\rightarrow \mathbf{I_{aire}}$). También tendremos en cuenta que al pedirnos la cantidad de aire necesario nos están pidiendo el volumen de ese aire, por ser éste un gas.

Además, el volumen de aire depende de las condiciones de presión y temperatura en que se encuentre.

El requerimiento de oxígeno en la combustión del etanol depende de la masa de éste que tratemos ($m_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}}$) y de la pureza de la muestra (% riqueza $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} \rightarrow \mathbf{I_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}}\%}$). Tendremos en cuenta que la pureza puede venir dada en masa o volumen, aunque normalmente el dato de etanol estará expresada como % vol e incluso representado por °(vol).

Otro factor a tener en cuenta es el rendimiento global de la reacción de combustión ($\mathbf{I_{\text{reac}}\%}$)

Restricciones:

- Consideraremos la combustión completa del etanol (no se producen otros compuestos como el CO)
- El rendimiento de la reacción es del 100%
- La riqueza del etanol vendrá dada en volumen.
- Consideramos la reacción en fase heterogénea.

Los alumnos deberán conocer:

- El concepto de mol.
- El manejo de rendimientos y expresiones de %
- El concepto de combustión como combinación con el oxígeno, y que al quemar un hidrocarburo se obtiene en general CO_2 y H_2O
- Las escrituras y ajustes de ecuaciones químicas.

- La formulación y nomenclatura de química orgánica para compuestos sencillos como el etanol.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: “El volumen de aire necesario en la combustión es directamente proporcional a la riqueza del etanol”.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

A partir del volumen y la pureza del etanol, (en volumen) calculamos el volumen real de etanol puro. Con éste y su densidad tendremos la masa y calcularemos entonces la cantidad de sustancia de reactivo inicial, luego utilizaremos la ecuación ajustada de la combustión para calcular los moles de oxígeno puro que necesito. Con las condiciones de P y T y aplicando la ecuación de los gases ideales para el oxígeno se calcula el volumen necesario. Por último con el dato de la riqueza del aire en oxígeno (en volumen) calcularemos el volumen de éste.

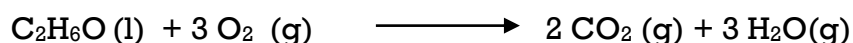
Para la resolución necesitamos conocer:

- Masa atómicas del C, O e H.
- Riqueza en oxígeno del aire (r aire .%).
- Pureza del etanol (r etanol .%vol)
- Volumen inicial de etanol
- Densidad del etanol (ρ_{etanol})
- Condiciones de presión P y temperatura T.
- Requerimientos: Manejo de concepto de mol, rendimientos y riqueza y la ecuación de los gases ideales.

4.- RESOLUCIÓN:

Necesitamos conocer los datos anteriormente comentados. Suponemos la reacción de combustión total. Así seguimos los pasos:

1. Ajuste de la ecuación:



2. Cálculo del volumen de etanol real (puro):

$$V_{e\text{ tan ol}} = V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100}$$

3. Cálculo de la masa de etanol:

$$m_{e\text{ tan ol}} = \rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol}} = \rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100}$$

4. Cálculo de los moles de partida de etanol en un volumen V:

$$n_{e\text{ tan ol}} = \frac{m_{e\text{ tan ol}}}{M_{e\text{ tan ol}}} = \frac{\rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100}}{M_{e\text{ tan ol}}}$$

5. Cálculo de moles de oxígeno necesarios para la combustión (relación estequiométrica):

$$n_{O_2} = n_{e\text{ tan ol}} \times \frac{3 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } e\text{ tan ol}} = \frac{3 \cdot \rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100}}{M_{e\text{ tan ol}}}$$

6. Cálculo del volumen de oxígeno necesario en condiciones de presión P y temperatura T.

$$V_{O_2} = \frac{n_{O_2} \cdot R \cdot T}{P} = \frac{3 \rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100} \cdot R \cdot T}{M_{C_2H_6O} \cdot P}$$

7. Volumen de aire si éste posee una riqueza en oxígeno de r_{aire} %

$$V_{\text{aire}} = V_{O_2} \times \frac{100}{r_{\text{aire}}} = \frac{3 \cdot \rho_{e\text{ tan ol}} \cdot V_{e\text{ tan ol inicial}} \cdot \frac{r_{e\text{ tan ol}}}{100} \cdot R \cdot T \cdot 100}{M_{e\text{ tan ol}} \cdot P \cdot r_{\text{aire}}}$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se comprueba que el resultado final corrobora la hipótesis. A mayor riqueza de oxígeno en el aire, necesitaremos menos volumen de éste para quemar etanos (es inversamente proporcional).

Comprobamos la concordancia de unidades:

$$V_{aire} = \frac{3 \cdot \rho_{e\ tan\ ol} \cdot V_{e\ tan\ ol\ inicial} \cdot \frac{r_{e\ tan\ ol}}{100} \cdot R \cdot T \cdot 100}{M_{e\ tan\ ol} \cdot P \cdot r_{aire}} \Rightarrow \frac{(g/ml) \cdot (ml) \cdot (atm \cdot l / K \cdot mol) \cdot (K)}{(g/mol) \cdot (atm)} = l$$

Existe coherencia, el volumen se obtiene en litros.

Tomamos un ejemplo concreto y vemos si se ajusta a la hipótesis propuesta:

Ej.: ¿Qué volumen de aire, al 21% (Vol) en oxígeno, necesito para quemar 1 litro de etanol al 96% (Vol) y de densidad 0,8 g/cm³, medido en condiciones normales de P y T?. (Suponemos que el rendimiento de la reacción es del 100% y la combustión total).

Resolución :

$$\begin{aligned} V_{aire} &= \frac{3 \cdot \rho_{e\ tan\ ol} \cdot V_{e\ tan\ ol\ inicial} \cdot \frac{r_{e\ tan\ ol}}{100} \cdot R \cdot T \cdot 100}{M_{e\ tan\ ol} \cdot P \cdot r_{aire}} = \\ &= \frac{0,8(g/ml) \cdot 1000(ml) \cdot 96/100 \cdot 0,082(atm \cdot l / K \cdot mol) \cdot 273(K)}{46(g/mol) \cdot 1(atm)} = 373,75l \end{aligned}$$

CORRECCIÓN DEL P6-FASE II-P 9-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como son la fórmula del etanol o solo algunos aspectos de la combustión en cuestión.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la reacción de combustión del etanol, escriben la ecuación ajustada y reflexionan la relación entre el oxígeno necesario para la reacción y el aire.
- Nivel 3: Los alumnos además de analizar en profundidad la reacción de combustión sugieren la necesidad de conocer el % de oxígeno contenido en el aire. Además son capaces de establecer algunas restricciones como son la necesidad de contar con oxígeno (aire) en exceso para la combustión, que la reacción sea completa (no se produzca CO) o que el etanol sea puro (si es el caso).

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
Ej. "Cuanta mayor cantidad de etanol tenga, mayor es la cantidad de aire que necesito para quemarlo".
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas en términos de moles o de masa. No trabajan con volúmenes de etanol o no tienen en cuenta la riqueza del aire
Ej: "La masa de etanol es proporcional a la masa de oxígeno"
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo que supone mayor complejidad como es expresarla en términos de volúmenes para etanol, teniendo en cuenta la riqueza del aire en oxígeno e incluso la pureza de etanol Ej. "La cantidad de aire necesaria para quemar etanol depende de la proporción de oxígeno que este contiene".

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen tan solo algún paso de la posible resolución, por ejemplo indican que van a utilizar la estequiometría de la reacción.
- Nivel 2: Los alumnos explican su estrategia de forma clara pero escasa
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo la proporción de oxígeno en el aire.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ninguna fórmula ni desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores.
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto por fallar algún concepto químico importante.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la situación, incluso proponen una concreción de su hipótesis y resolución, pero cometen fallos de ejecución como ajustar mal la reacción en su ejemplo concreto. También se incluyen los que analizan bien pero este análisis no se ajusta completamente a su hipótesis.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 7-FASE II-P10 FASE I

CON LOS RESTOS DE SERRÍN DE UNA INDUSTRIA MADERERA SE OBTIENE, MEDIANTE UN PROCESO DE GASIFICACIÓN, UNA MEZCLA QUE CONTIENE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE MONÓXIDO DE CARBONO Y DE HIDRÓGENO. ¿CUÁNTO METANOL PUEDO OBTENER DE ESE GAS?

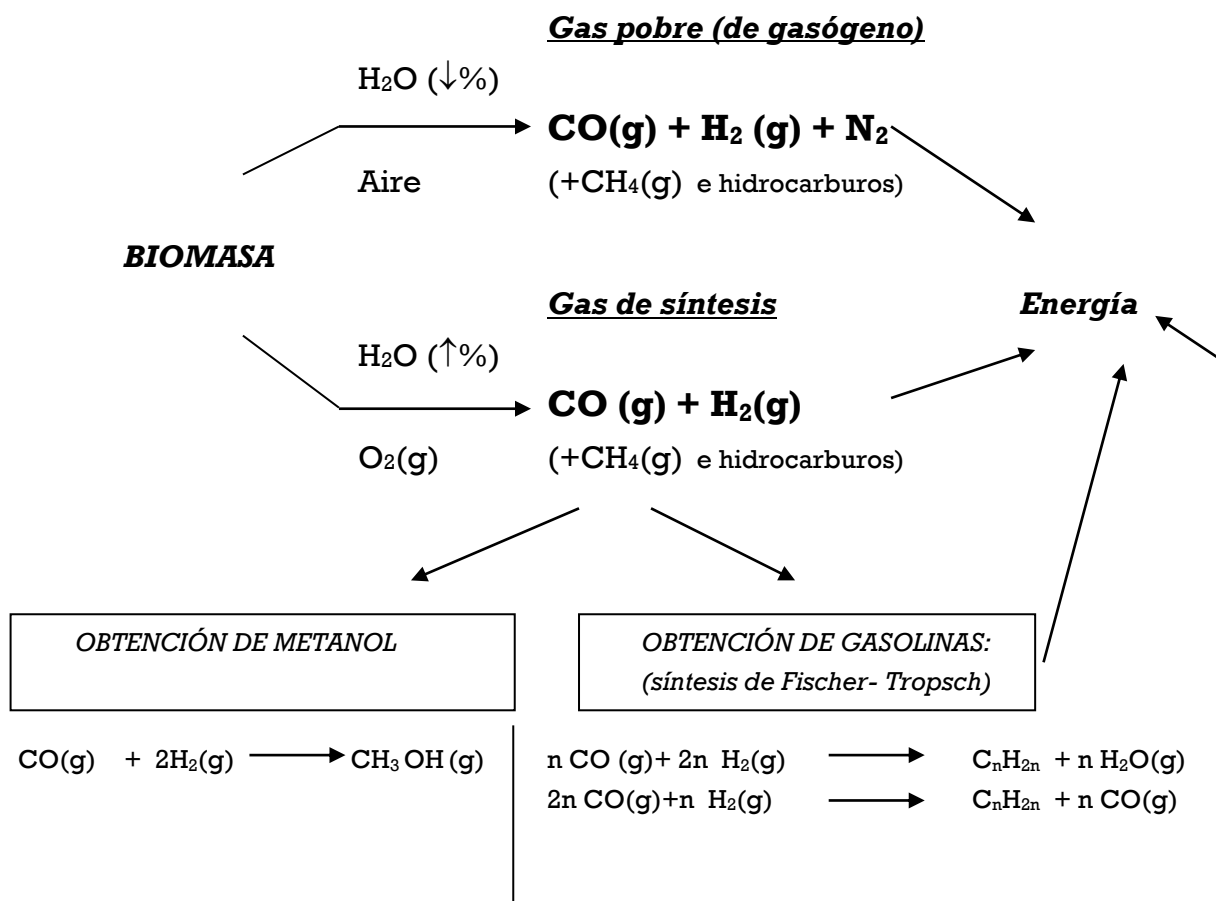
1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

La gasificación es un proceso de combustión incompleta de la biomasa por defecto de oxígeno. Se obtienen mezclas de CO, H₂ y CH₄ entre otros gases. Los dos factores que influyen más directamente en las proporciones de éstos son: el grado de humedad de la materia prima utilizada (favorece la formación de hidrógeno y metano) y el comburente (en presencia de aire se obtiene gasógeno o gas pobre, por su alto contenido en nitrógeno, y en presencia de oxígeno se obtiene el llamado gas de síntesis).

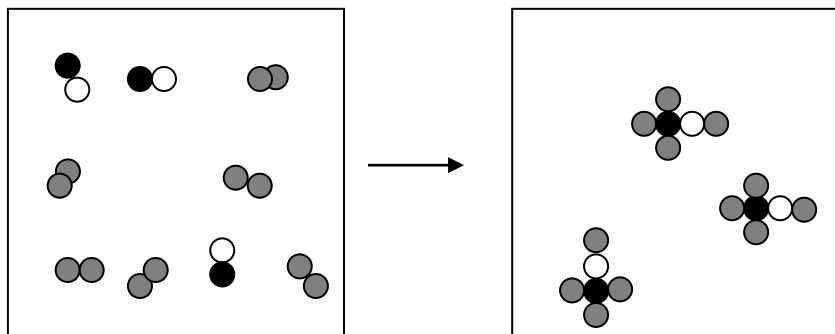
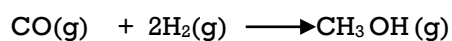
Así se obtienen dos tipos de mezclas:

- Gasógeno o gas pobre (principalmente CO, H₂ y N₂). Se denomina así por su bajo poder calorífico debido a su alto contenido en nitrógeno (50% del volumen final). Se suele utilizar para quemar en las mismas instalaciones, donde se obtiene.
- Gas de síntesis (principalmente CO y H₂). Su poder calorífico es elevado, muy parecido al de otros combustibles gaseosos convencionales como gas natural, propano, butano,... por lo que es muy apreciado. Además, la mezcla es una importante materia prima en la síntesis orgánica siendo de especial interés su transformación en metanol y gasolinas, cuya demanda es muy superior que la de los combustibles gaseosos.

	%CO	%CO ₂	%H ₂	% CH ₄ e hidrocarburos	%N ₂	Poder calorífico (kJ/m ³)
Gasógeno	11-30	6-16	10-20	1-15	50	3,4-5,4 · 10 ³
Gas de síntesis	40-50	10-20	25-30	4-8	—	5,0-10,9 · 10 ³



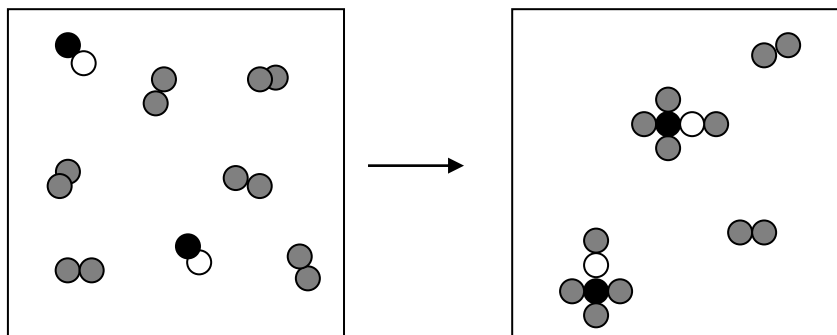
Por tanto la reacción ajustada sería:



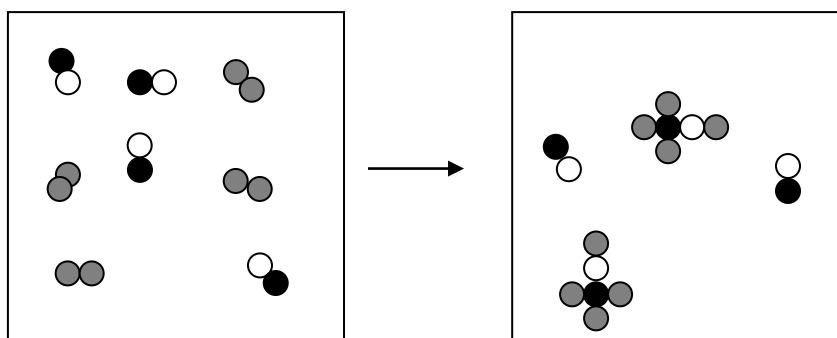
Donde ● representa un átomo de C, ● de H y ○ de O

Puesto que los dos componentes del gas de síntesis son los que producen el metanol, la reacción concluye cuando uno de los dos reactivos se agote, ese será el reactivo limitante.

Si el reactivo limitante fuese el CO tendríamos por ejemplo:



Si fuese el H₂:



Restricciones:

- Utilizaremos serrín seco
- Consideraremos mezclas de formación ricas en oxígeno, para obtener gas de síntesis.
- Conoceremos previamente la proporción de monóxido de carbono del biogás.
- Todo el CO del biogás se transforma en metanol.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: “El volumen de metanol obtenido depende de la proporción de CO en el biogás”

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia

Necesitamos conocer los datos de composición del biogás (% de CO en el biogás) formado.

Partiendo de un volumen determinado de biogás se calcula con el porcentaje el volumen de CO y de H₂, después utilizando la ecuación de los gases ideales la cantidad de sustancia. Con ésta y con la ecuación ajustada se decide cuál es el reactivo limitante. Con la ecuación de síntesis del metanol a partir del CO se calculan los moles de metanol y los gramos con la Mmolar. El volumen se determina después, pues es un líquido a temperatura ambiente de almacenaje, y suponiendo un 100% de rendimiento.

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de resolución necesitamos conocer:

- Masa atómicas del C, H. y O
- Riqueza en CO del biogás
- Densidad y del metanol
- Cálculos con cantidad de sustancia

1. Calculamos el volumen del CO y del H₂ en el volumen inicial de gas

$$V_{H_2} = V_{\text{gas de síntesis}} \cdot \% r_{H_2} / 100$$

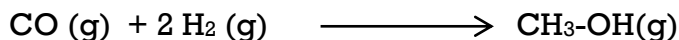
$$V_{CO} = V_{\text{gas de síntesis}} \cdot \% r_{CO} / 100$$

2. Calculamos los moles de ambos:

$$n_{H_2} = \frac{P \cdot V_{H_2}}{R \cdot T} = \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% r_{H_2} / 100}{R \cdot T} = \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% r_{H_2}}{100 \cdot R \cdot T}$$

$$n_{CO} = \frac{P \cdot V_{CO}}{R \cdot T} = \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% r_{CO} / 100}{R \cdot T} = \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% r_{CO}}{100 \cdot R \cdot T}$$

3. Escribimos la ecuación de formación ajustada



4. Identificamos el reactivo limitante (sabiendo que necesito el doble de moles de H₂ que de monóxido)

Si $2n_{H_2} > n_{CO}$. El reactivo limitante es el CO

Si $2n_{H_2} < n_{CO}$. El reactivo limitante es el H₂

5. Calculamos los moles de metanol a partir del reactivo limitante (aquí se desarrolla el del H₂ y para el CO sería similar)

$$n_{CH_3OH} = n_{H_2} \times \frac{1 \text{ mol}_{CH_3OH}}{2 \text{ mol}_{H_2}} = 1/2 n_{H_2} (\text{mol de } CH_3OH) = 1/2 \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% r_{H_2}}{100 \cdot R \cdot T}$$

6. Calculamos la masa de metanol:

$$m_{CH_3OH} = n_{CH_3OH} \cdot M_{CH_3OH} = 1/2 \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% R_{H_2}}{100 \cdot R \cdot T} \cdot M_{CH_3OH}$$

7. Calculamos el volumen de metanol a temperatura ambiente

$$V_{CH_3OH} = \frac{m_{CH_3OH}}{\rho_{CH_3OH}} = \frac{n_{CH_3OH} \cdot M_{CH_3OH}}{\rho_{CH_3OH}} = 1/2 \frac{P \cdot V_{\text{gas síntesis}} \cdot \% R_{H_2} \cdot M_{CH_3OH}}{100 \cdot R \cdot T \cdot \rho_{CH_3OH}}$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La hipótesis propuesta concuerda con el resultado. Tomamos un ejemplo concreto y comprobamos:

Ejemplo numérico:

Ej. : Calcular el volumen de metanol obtenido a partir de 20litros de un gas de síntesis procedente de la gasificación del serrín de una industria maderera, sabiendo que la proporción de CO en la mezcla es del 50% y la de Hidrogeno 25% . ρ metanol puro= 791,80 kg/m³

Resolución :

$$V_{H_2} = V_{\text{gas de síntesis}} \cdot \% \text{ } H_2 / 100 = 20L \cdot 0,25 = 5 L$$

$$V_{CO} = V_{\text{gas de síntesis}} \cdot \% \text{ } CO / 100 = 20L \cdot 0,5 = 10L$$

CORRECCIÓN DEL P 7-FASE II-P 10-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como son la fórmula del metanol o solo algunos aspectos del proceso de gasificación.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la formación de metanol, escriben la ecuación ajustada y reflexionan la relación entre el oxígeno necesario para la reacción y el aire.
- Nivel 3: Los alumnos además de analizar en profundidad la reacción de formación del metanol y analizan la necesidad de identificar el reactivo limitante y el que se encuentra en exceso. Son capaces de hacer representaciones gráficas microscópicas y de establecer algunas restricciones como considerar el rendimiento de esta reacción al 100% (no se forman otros derivados).

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
Ej. "Cuanta mayor cantidad de monóxido tenga,, mayor cantidad de metanol obtengo".
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas en términos de moles o de masa. No trabajan con volúmenes de gases Ej: "La masa de metanol es proporcional a la masa de monóxido de carbono".
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo que supone mayor complejidad como es expresarla en términos de volúmenes para monóxido, hidrógeno y metanol, teniendo en cuenta que uno de los dos primeros es reactivo limitante Ej. " Los volúmenes de metanol obtenido son proporcionales a los volúmenes de CO" o " El CO actuará como reactivo limitantepor lo que la masa de metanol es directamente proporcional a la masa de CO".

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen tan solo algún paso de la posible resolución, por ejemplo indican que van a utilizar la estequiometría de la reacción..
- Nivel 2: Los alumnos explican su estrategia de forma clara pero escasa.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo la proporción de proporciones de CO y H₂ en el gas de síntesis.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ninguna fórmula ni desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos desarrollados faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores.
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final.

VM5: análisis de los resultados:

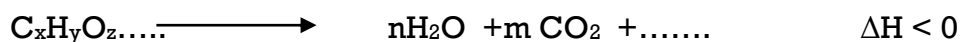
- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto por fallar algún concepto químico importante.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la situación, incluso proponen una concreción de su hipótesis y resolución, pero cometen fallos de ejecución como ajustar mal la reacción en su ejemplo concreto. También se incluyen los que analizan bien pero su caso no se ajusta completamente a su hipótesis.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 8-FASE II

¿QUÉ RESIDUO ME INTERESA MÁS USAR COMO COMBUSTIBLE?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

Si los compuestos que tenemos provienen de la biomasa serán orgánicos y en su estructura contienen principalmente C, H y O. En su reacción de combustión se obtendrán CO₂, agua y otros compuestos como óxidos de N o de S si estos elementos se encuentran en la estructura inicial. Si la combustión no es completa se producirá monóxido de carbono.



La reacción de combustión en todos los casos es exotérmica, va acompañada de desprendimiento de energía, por lo que la entalpía será negativa, y esa cesión de energía al exterior, que es la que nosotros pretendemos utilizar. La cantidad de energía desprendida no será igual en todas las situaciones pues depende del tipo y cantidad de enlaces químicos rotos y formados, es decir, dependerá de la estructura química del combustible (residuo).

El CO₂ es el mayor causante del llamado efecto invernadero, que está originando el calentamiento progresivo del planeta y las consecuencias para el planeta que se derivan de esta situación. pero en las combustiones de residuos orgánicos es inevitable, en los inorgánicos no se produce si no tiene C en su composición. Los posibles óxidos que se formen del nitrógeno y del azufre son altamente contaminantes. En contacto con el agua de lluvia produce los ácidos sulfúrico y nítrico dan lugar a la lluvia ácida, causante de la deforestación por abrasión, la muerte de peces en ríos y lagos por acidificación,... Los propios gases en contacto con las mucosas húmedas de nuestras vías respiratorias nos producen irritaciones en éstas y afecciones pulmonares.

En los combustibles se habla de poder calorífico, como la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. Expresa la energía que puede liberar la

unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión.

Restricciones:

- Los residuos deben estar lo más secos posibles para que puedan arder.
- No se utilizarán residuos que contengan o produzcan gases tóxicos durante la combustión.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis 1: Los residuos agrícolas producen mayor energía que los ganaderos.

Hipótesis 2: Los residuos ganaderos producen mayor energía que la basura orgánica que generamos en nuestros hogares.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS

Estrategia : Experimental

Realizamos tres montajes idénticos con un recipiente para quemar los residuos, un vaso de precipitados con agua para calentarla e introduciremos un termómetro para medir la temperatura de ésta. En cada uno de ellos se procederá a la combustión de una cantidad idéntica de residuos de cada clase. La energía desprendida se comparará por mayor o menor calentamiento de una cantidad idéntica de agua. El aumento de temperatura dependerá del calor suministrado, según la ecuación: $Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T$.

4.- RESOLUCIÓN

Estrategia: Experimental

Necesitamos conocer:

- Calor específico del agua.
- Relación entre el incremento de temperatura y el calor suministrado.

Seguiremos los pasos:

- 1- Tomamos una cantidad determinada m de cada uno de los residuos (ej. excrementos de vaca, pelo, posos de café, etc.) y los trituramos. Los mezclamos con una parte de alcohol igual en cada caso y los colocamos en tres recipientes iguales.
- 2- Los residuos se encienden y se coloca encima un caso de precipitados con un volumen de agua determinado (m agua). En los tres casos se realiza el mismo montaje.
- 3- Se introduce un termómetro en el agua y se mide el aumento de temperatura en cada uno de los tres casos.
- 4- Se determina un tiempo de combustión que no agote el combustible.

En los tres casos los experimentos son idénticos y simultáneos.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los aumentos de temperatura experimentada por el agua, en el mismo tiempo, se deducirá que residuo ha suministrado mayor cantidad de energía, y por tanto, es el mejor combustible desde el punto de vista energético.

CORRECCIÓN DEL P 8-FASE II

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos de la combustión o de la energía.
- Nivel 2: Analizan la combustión y la energía de la reacción de forma simple
- Nivel 3: Identifican la entalpía de la reacción como resultado de las entalpías de enlaces rotos y formados y el hecho de ser negativa para obtención de energía. Además, los alumnos analizan en profundidad la reacción de combustión, reconociendo los diferentes compuestos que se obtienen en función de la estructura de los compuestos iniciales, reconociendo algunos como potencialmente contaminantes y nocivos. Por tanto asumiendo ya ideas medioambientales.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la energía.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo de comparación entre dos tipos de residuos y la expresan en términos entalpía o de julios.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis.
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores.
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando los pasos a seguir con el método a utilizar,...

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis o estrategia.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 9-FASE II-P11 FASE I

AL DESCOMPONERSE LA MATERIA ORGÁNICA DE LAS BASURAS SE OBTIENE UN BIOGÁS QUE CONTIENE METANO. ÉSTE ES UTILIZADO PARA OBTENER ENERGÍA. MEDIANTE COMBUSTIÓN. ¿CUÁNTA ENERGÍA SE PUEDE RECUPERAR DE LA BASURA QUE GENERAS CADA DÍA?

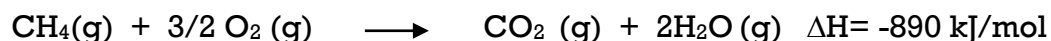
1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

La materia orgánica en ausencia de oxígeno (medio anaerobio) produce un gas que contiene principalmente metano y dióxido de carbono. Este gas es llamado comúnmente biogás. Además, se obtienen otros residuos sólidos (lodo o fango), N₂, P, minerales,...

La composición del biogás depende de la naturaleza de los residuos y de las condiciones de descomposición pero, en general la proporción de metano suele ser de un 50-70% y la de CO₂ de un 30-50%. Los otros componentes aparecen en pequeñas cantidades (N₂: 3%, O₂: 0,1%, H₂: 1-10% , SH₂: trazas,...).

Las variables del proceso son la temperatura, el pH (puede inhibir algunas bacterias), el tipo de materia prima (mayor proporción de metano si son polisacáridos, proteínas, lípidos y lignina).

La combustión es una reacción química de oxidación en la que, mediante la ruptura de unos enlaces y la formación de otros, se obtienen los óxidos de cada uno de los elementos químicos presentes en la sustancia combustible. Para el metano:



En el caso de que la combustión sea completa, sino se forma monóxido de carbono.

Esta reacción es exotérmica $\Delta H < 0$, la energía de los productos es menor que la de los reactivos y el exceso se desprende en forma de calor.

En el caso de los combustibles se habla de poder calorífico de esa sustancia, que es el calor asociado a la reacción de combustión por unidad de masa (en vez de por mol). Así estudiamos la cantidad de energía desprendida al quemarse un kilogramo (o un gramo) de un combustible determinado. En nuestro caso: $\Delta H = -55625 \text{ kJ/kg}$ o -13350 kcal/kg .

Restricciones:

- Consideramos que todo el vertedero tiene la misma clase de basura, la producción de gas es una media.
- Sabremos qué cantidad de gas se produce por tonelada de basura
- Conoceremos previamente la proporción de metano del biogás producido.
- Suponemos que el oxígeno, o el aire que lo contiene, están en exceso y el metano es, por tanto, el reactivo limitante.
- Suponemos la reacción completa, no se produce CO
- Rendimiento de la reacción es del 100%

Los requerimientos de conocimientos por parte de los alumnos son:

- Conocer el concepto de biogás, su composición y origen.
- Utilizar cálculos con tantos por ciento y riqueza.
- Conocer el concepto de reacción de combustión y de entalpía de una reacción.
- Realizar con soltura cálculos estequiométricos.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: “La energía que se recupera es directamente proporcional a la masa de basura”.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia 1:

Partir de datos de composición del biogás y de % de materia orgánica en la basura para calcular el metano producido. Se calcula la energía desprendida a partir de las relaciones estequiométricas de la ecuación ajustada de la combustión completa.

Estrategia 2:

Aislar la materia orgánica de nuestra basura y pesarla, Calcular teóricamente la energía desprendida tomando valores de composición del biogás para calcular el metano producido y posteriormente, se determina la energía desprendida a partir de relaciones estequiométricas de la ecuación ajustada de la combustión completa.

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Resolución 1 para estrategia 1:

En el proceso de resolución necesitamos conocer:

- % de la basura que es materia orgánica
- Cantidad de gas que produce cada kg de materia orgánica.
- % de metano que contiene nuestro biogás.
- ΔH de la reacción de combustión.

Los pasos a seguir serían:

1. Calculamos la materia orgánica de la basura

$$m(\text{Kg}) \text{ materia orgánica} = m(\text{kg}) \text{ de basura} \cdot (\% \text{ mat org}/100)$$

2. Calculamos el gas que se produce

$$V \text{ biogás} = m \text{ materia orgánica} \cdot \% \text{ biogás} / 100 =$$

$$m(\text{kg}) \text{ de basura} \cdot \% \text{ mat. org}/100 \text{kg basura} \cdot V \text{ biogás}/\text{Kg mat.org}$$

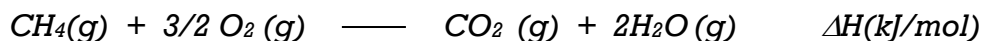
3. Si la proporción de metano en el biogás es de % r metano:

$$V_{CH_4} = V_{biogás} \cdot \frac{\% CH_4}{100} = \frac{m_{basura} \cdot \% \text{mat.org}}{100} \cdot \frac{V_{biogás}}{m_{mat.org}} \cdot \frac{\% CH_4}{100}$$

4. Calculamos los moles de metano a partir de la ecuación de los gases ideales:

$$n_{CH_4} = \frac{P \cdot V_{CH_4}}{R \cdot T} = \frac{P}{R \cdot T} V_{CH_4} = \frac{P}{R \cdot T} V_{biogás} \cdot \frac{\% CH_4}{100} = \frac{P \cdot m_{basura} \cdot \% \text{mat.org}}{R \cdot T \cdot 100} \cdot \frac{V_{biogás}}{m_{mat.org}} \cdot \frac{\% CH_4}{100}$$

5. Escribimos la ecuación ajustada de la combustión



6. Relacionamos estequiométricamente:

$$\begin{aligned} E(\text{kJ}) &= n_{CH_4} \times \frac{\Delta H(\text{kJ})}{1 \text{ mol } CH_4} = \Delta H(\text{kJ}) \times \frac{P \cdot V_{CH_4}}{R \cdot T} = \Delta H \cdot \frac{P}{R \cdot T} V_{CH_4} = \Delta H \cdot \frac{P}{R \cdot T} V_{biogás} \cdot \frac{\% CH_4}{100} \\ &= \frac{\Delta H \cdot P \cdot m_{basura} \cdot \% \text{mat.org}}{R \cdot T \cdot 100} \cdot \frac{V_{biogás}}{m_{mat.org}} \cdot \frac{\% CH_4}{100} \end{aligned}$$

Resolución 2: experimental

1. Pesamos una bolsa de basura.
2. Separamos la materia orgánica y volvemos a pesar

3. Seguimos los pasos de la estrategia anterior.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis 1 para H1 y estrategia 1:

Como podemos observar en la ecuación del paso 6 de la resolución la hipótesis es correcta pues la energía es directamente proporcional a la masa de basura

Comprobamos si las unidades son lógicas:

$$E(kJ) = \frac{\Delta H \cdot P \cdot m_{\text{basura}} \cdot \% \text{mat.org.}}{R \cdot T \cdot 100} \cdot \frac{V_{\text{bioga}}}{m_{\text{mat.org.}}} \cdot \frac{\% CH_4}{100} \Rightarrow kJ = \frac{(kJ/mol) \cdot atm \cdot kg \cdot (kg/kg)}{(atm \cdot l / K \cdot mol) \cdot K} \times (l/kg) \times (l/l) = kJ$$

Ej. En Madrid se recogen a diario 60 toneladas de basura con un 40% de materia orgánica. Si Kg de ésta genera 0,813m³ de biogás ¿ cuánta energía puedo recuperar de mi basura en un día? (poder calorífico del metano es 55625kJ/kg = 890kJ/mol). Supongo que se encuentran a 25°C y 1atm.

$$E(kJ) = \frac{\Delta H \cdot P \cdot m_{\text{basura}} \cdot \% \text{mat.org.}}{R \cdot T \cdot 100} \cdot \frac{V_{\text{biogas}}}{m_{\text{mat.org.}}} \cdot \frac{\% CH_4}{100} = \frac{890(kJ/mol) \cdot 1(atm) \cdot 40(kg)}{0,082(atm \cdot l / K \cdot mol) \cdot 298(K) \cdot 100(kg)} \cdot \frac{813(l)}{1(kg)} \cdot \frac{65(l)}{100(l)} = 7698.8kJ$$

Análisis 2 para estrategia 2 y resolución 2:

Los resultados se analizan a partir de los datos experimentales que se producen en cada caso.

CORRECCIÓN DEL P 9-FASE II-P 11-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como son la combustión o la digestión anaerobia para producir metano.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la producción de biogás y la necesidad de conocer el % de metano. También estudian la reacción de combustión del metano y escriben la ecuación ajustada.
- Nivel 3: Los alumnos además de analizar la formación de biogás, el contenido en metano de éste y explicar su reacción de combustión, reconocen esta reacción en términos cualitativos de poder calorífico y/o entalpía de reacción. Además son capaces de establecer algunas restricciones como son la necesidad de contar con oxígeno (aire) en exceso para la combustión o que la composición de la basura se tome como homogénea.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
Ej. "Cuanta más cantidad de basura más energía".
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas pero en términos de moles en vez de masa o volumen. También parten de pasos intermedios como masa de metano.
Ej: "La energía que se puede recuperar es proporcional a los moles de metano que obtengamos" o "A mas masa de metano mas de energía podremos recuperar de la basura".
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de masa para la basura y volúmenes para metano o biogás. Ej. "La energía que se puede recuperar será directamente proporcional a la masa de basura que tenga. Cuanto mayor sea la masa de basura mayor será la energía que se puede recuperar" o "Cuánto más masa de basura, obtengo un mayor volumen de biogás que será proporcional al volumen de metano→ Cuánto más basura más cantidad (kJ) de energía del metano".

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen tan solo algún paso de la posible resolución.
- Nivel 2: Los alumnos explican su estrategia de forma clara pero escasa.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo la proporción de metano en el biogás.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ninguna fórmula ni desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores como la % de metano o la masa de basura.

- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto por fallar algún concepto químico importante.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la situación pero parten de un volumen de biogás o metano concreto en vez de masa de basura.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE RESOLUCIÓN PARA EL P 10-FASE II-P12 FASE I

LA MAYORÍA DE LOS COCHES DE BRASIL FUNCIONAN CON ETANOL, SIN TENER QUE MODIFICAR EL MOTOR DEL VEHÍCULO ¿CUÁL ES LA CONTRIBUCIÓN AL EFECTO INVERNADERO DEBIDA A LA COMBUSTIÓN DE UN DEPÓSITO COMPLETO DE UNO DE ESTOS COCHES?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

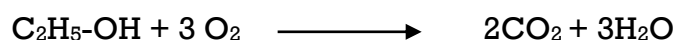
El etanol es compuesto orgánico que puede ser obtenido a partir de la fermentación alcohólica de compuestos azucarados o amiláceos. En el caso del Brasil se sintetiza a partir de la caña de azúcar.

Es un alcohol alifático, saturado y de cadena abierta que responde a la fórmula empírica C_2H_6O y cuya fórmula semidesarrollada es:



La energía necesaria para mover el coche se obtiene de la transformación de energía química de la reacción de combustión del etanol en energía mecánica.

En la reacción de combustión se va a combinar el oxígeno con cada uno de los elementos que forman el etanol para dar los óxidos correspondientes. Si la combustión es completa la ecuación de combustión ajustada es la que sigue:



Si la combustión no es completa, se pueden formar otros compuestos, entre los que se encuentra el CO.

En lo referente al efecto invernadero, sabemos que está causado por ciertos gases entre los que se encuentra, mayoritariamente, el CO_2 (aproximadamente un 60% se debe a su contribución), y que consiste en el progresivo calentamiento de la tierra al acumularse estos gases en la atmósfera y permitir la entrada de la radiación solar de onda larga que calienta la tierra, pero no permitir salir la radiación térmica de onda corta.

En la situación problemática vemos que la combustión produce CO_2 , causante de dicho efecto, por lo tanto este será el objeto del estudio.

Aunque si nos fijamos, más allá de la combustión podríamos decir que la contribución neta al efecto invernadero es nula pues proviene de biomasa que fijó a su vez el CO_2 que se va a desprender en la combustión, y si se vuelve a cultivar esa caña de azúcar de la que proviene el ciclo atmosférico de ese CO_2 se cerraría y el balance sería nulo.

Restricciones:

- La combustión es completa, no se forma CO ni otros compuestos.
- El combustible es de etanol puro (100%)
- La formación del CO_2 que se produce contribuye al efecto invernadero. No se considera la posible fijación posterior de la biomasa.
- El oxígeno (aire) está en exceso
- El rendimiento de las reacciones del 100%

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis 1: La contribución al efecto invernadero depende de la cantidad (volumen) de CO_2 producido en la combustión y esta es proporcional al volumen de etanol inicial (volumen del depósito). Es decir: “El volumen de CO_2 producido es proporcional al volumen del depósito”.

Hipótesis 2: La contribución al efecto invernadero depende de la masa de CO_2 desprendido en la combustión y esta es proporcional al volumen de etanol inicial (volumen del depósito). Es decir: “La masa de CO_2 producido es proporcional al volumen del depósito”.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia 1 para H1:

A partir del volumen de etanol inicial (que coincide con el del depósito) calculo la masa de etanol a partir de la densidad. Después calculo los moles de etanol y, mediante la ecuación ajustada de la combustión los moles de CO_2 que se desprenden y luego el volumen, en condiciones de P y T ambientales, a partir de la ecuación de los gases ideales.

Estrategia 2 para H2:

A partir del volumen de etanol inicial (que coincide con el del depósito) calculo la masa de etanol con el dato de densidad. Después relaciono las masas de etanol y CO₂ a partir de los coeficientes estequiométricos de la ecuación ajustada de la combustión de este compuesto.

4.- RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Resolución 1 para H1 y estrategia 1:

Necesito conocer:

- Capacidad del depósito del coche.
- Densidad del etanol.
- Masas atómicas del C, O e H.
- Condiciones de P y T.
- Constante de los gases ideales.

Los pasos a seguir son:

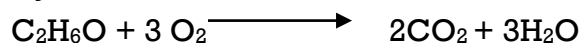
1. Cálculo de la masa de etanol:

$$m_{\text{etanol}} = V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}}$$

2. Cálculo la cantidad de sustancia:

$$n_{\text{etanol}} = \frac{m_{\text{etanol}}}{M_{\text{etanol}}} = \frac{V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}}}{M_{\text{etanol}}}$$

3. Cálculo de los moles de dióxido de carbono a partir de la ecuación ajustada de combustión:



$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{etanol}} \times \frac{2 \text{ moles de CO}_2}{1 \text{ mol de etanol}} = \frac{V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}}}{M_{\text{etanol}}} \cdot 2$$

4. Cálculo el volumen de CO₂ en las condiciones correspondientes de presión (P) y temperatura (T):

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow V_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2} \cdot R \cdot T}{P} = \frac{2 \cdot V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}} \cdot R \cdot T}{M_{\text{etanol}} \cdot P}$$

Resolución 2 para H2 y estrategia 2:

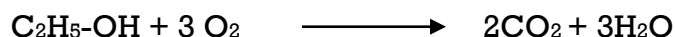
Necesito conocer:

- Capacidad del depósito del coche
- Densidad del etanol.

1. Calculo la masa de etanol

$$m_{\text{etanol}} = V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}}$$

2. Escribo la ecuación ajustada de la combustión completa de etanol:



3. Relaciono las masas de etanol y dióxido de carbono:

$$m_{\text{CO}_2} = m_{\text{etanol}} \times \frac{2 \cdot M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{etanol}}} = \frac{V_{\text{depósito}} \cdot \rho_{\text{etanol}} \cdot 2 \cdot M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{etanol}}}$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**Análisis 1 para H1, estrategia 1 y resolución 1:**

Analizando los resultados la hipótesis es correcta, el volumen de CO₂ producido es proporcional al volumen del depósito.

Ejemplo numérico:

La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo. ¿Cuál es la contribución al efecto invernadero (medida en volumen de dióxido de carbono en condiciones normales de presión y temperatura) debida a la combustión de un depósito completo de etanol puro de 50 litros de capacidad?

Datos:

Densidad del etanol = 0,8g/cm³

MC = 12 u. MO = 16 u. MH = 1 u.

$$V_{CO_2} = \frac{n_{CO_2} \cdot R \cdot T}{P} = \frac{2 \cdot V_{depósito} \cdot \rho_{etanol} \cdot R \cdot T}{M_{etanol} \cdot P} =$$

$$= \frac{2 \cdot 50(l) \cdot 800(g/l) \cdot 0,082(atm \cdot l / K \cdot mol) \cdot 273(K)}{46(g/mol) \cdot 1(atm)} = 38.932,2l$$

Análisis 2 para H2, estrategia 2 y resolución 2:

Analizando los resultados la hipótesis es correcta, la masa de CO₂ que se desprende es proporcional al volumen del depósito.

Ejemplo numérico:

La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo ¿Cuál es la contribución al efecto invernadero (medida en masa de dióxido de carbono) debida a la combustión de un depósito completo de etanol puro de 50 litros de capacidad?

Datos:

Densidad del etanol = 0,8g/cm³

MC = 12 u. MO = 16 u. MH = 1 u.

$$m_{CO_2} = \frac{V_{depósito} \cdot \rho_{etanol} \cdot 2M_{CO_2}}{M_{etanol}} = \frac{50(l) \cdot 800(g/l) \cdot 2 \cdot 44(g/mol)}{46(g/mol)} = 76.521,8g$$

Las unidades corresponden a la magnitud calculada.

CORRECCIÓN DEL P 10-FASE II-P 12-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como son la fórmula del etanol o solo algunos aspectos de la combustión en cuestión..
- Nivel 2: Los alumnos analizan la reacción de combustión del etanol, escriben la ecuación ajustada y profundizan en los aspectos derivados de esta como son la formación de CO_2 y su importancia sobre la contribución al efecto invernadero.
- Nivel 3: Los alumnos además de analizar la reacción de combustión, explican claramente en qué consiste el efecto invernadero y porque puede o no contribuir a aumentar éste dicha actividad. También estudian como es el oxígeno del aire el que interviene en dicha reacción y por tanto sugieren la necesidad de conocer el % de oxígeno contenido en el aire. Además son capaces de establecer algunas restricciones como son la necesidad de contar con oxígeno (aire) en exceso para la combustión, o que en el depósito haya exclusivamente etanol.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar. Ej. "Cuanta más cantidad de etanol más contribución al efecto invernadero".
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas pero en términos de moles o de masa en vez de volumen de etanol y volumen de CO_2 . Ej: "A mayor masa de etanol mayor contribución al efecto invernadero"
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de volúmenes para etanol y para el CO_2 , o al menos volumen en uno de ellos(volumen – masa o viceversa).Ej."El V de CO_2 que es el que contribuye al efecto invernadero es proporcional al V de etanol que haya en el depósito de uno de esos coches".

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen tan solo algún paso de la posible resolución.
- Nivel 2: Los alumnos explican su estrategia de forma clara pero escasa
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo la proporción de oxígeno en el aire.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ninguna fórmula ni desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizan todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final.

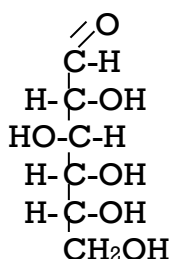
VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.

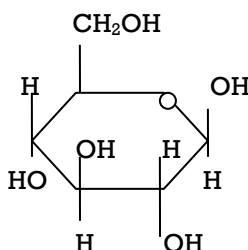
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto por fallar algún concepto químico importante.
- Nivel 2: Los alumnos analizan la situación, incluso proponen una concreción de su hipótesis y resolución, pero cometen fallos de ejecución como ajustar mal la reacción en su ejemplo concreto.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE SOLUCIÓN PARA EL P 1-FASE I**¿QUÉ MOLÉCULA "TIENE" MAYOR ENERGÍA, LA GLUCOSA O EL OXÍGENO?****1.-ANÁLISIS CUALITATIVO:**

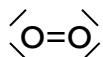
La glucosa es un compuesto orgánico de fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$. Por otro lado podemos decir que es una aldohexosa y un polialcohol. Su fórmula lineal semidesarrollada se puede escribir como:



Por otro lado la glucosa se suele presentar en disolución en formas cicladas más estables, por ejemplo:



En cuanto al oxígeno, es un elemento cuya forma mas común es la molécula diatómica O_2 , que temperatura ambiente se encuentra en forma gaseosa(a 1 atm DE PRESIÓN). La molécula presenta en su estructura un doble enlace covalente:



La diferencia entre la energía interna de los átomos aislados y los átomos unidos formando la molécula correspondiente será esa energía de formación del compuesto que buscamos. La energía contenida en las sustancias debido a esa situación de enlace, se pone de manifiesto en los procesos químicos en que intervienen. El calor es la forma de energía más frecuente asociada a las reacciones químicas. Para expresar el calor absorbido o liberado en un proceso (a presión constante) se utiliza en

Química la magnitud llamada entalpía y que se expresa con el símbolo H (Si $\Delta H > 0$ el sistema gana energía, se absorbe energía y si $\Delta H < 0$ el sistema pierde energía, se desprende energía. En el primer caso la reacción se denomina endotérmica (gana energía en forma de calor) y en el segundo exotérmica (pierde energía en forma de calor).

Para conocer la energía de formación de un compuesto recurrimos a las entalpías de enlace, calculadas a partir de la reacción de ruptura de estos y su entalpía asociada (tendremos que aportar tanta energía para romperlo como energía esté acumulada en dicha unión). Al formarse una molécula se produce una transferencia de energía de forma que los estados inicial y final tienen diferente energía interna, esa diferencia es la energía de enlace.

La energía de cada compuesto depende del número, la naturaleza y tipo de los enlaces químicos que posee. Así en la glucosa existen enlaces C-C, O-H, C-H, C-O, y C=O y en el oxígeno molecular enlaces O=O

La energía de cada tipo de enlace viene dada en tablas.

Restricciones:

- Consideraremos una molécula sola de cada sustancia para evitar tener en cuenta las fuerzas intermoleculares.
- Las dos moléculas en estado gaseoso para poder utilizar las tablas de energías de disociación.
- La molécula de glucosa será lineal.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: "La energía transformada depende del tipo de enlaces presentes".

La glucosa parece ser la de mayor energía de formación por la cantidad de enlaces presentes por lo que comprobamos:

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Necesitamos tablas con valores de energías de enlace

Calculamos el número de enlaces de cada clase que hay en cada molécula y, con los valores de energía de enlace, la energía por mol. Si las entalpías vienen en kJ/mol dividimos por el número de Avogadro para tener la de una molécula, y comparamos (también podemos comparar por mol).

4.- RESOLUCIÓN

Necesitamos conocer:

- Valores de energías de enlace
- Número de Avogadro

Seguimos los siguientes pasos:

1. Calculamos la cantidad de enlaces distintos presentes en cada molécula

Enlaces en glucosa: 5 C-C, 7 C-H, 5 C-O, 1 C=O y 5 O-H

Enlaces en oxígeno: O=O

2. Vamos a las tablas de entalpías de enlace y calculamos la energía total de la molécula

$$\Delta H(\text{GLU}) = 5 \Delta H(\text{C-C}) + 7 \Delta H(\text{C-H}) + 5 \Delta H(\text{C-O}) + 1 \Delta H(\text{C=O}) + 5 \Delta H(\text{O-H}) \quad (\text{kJ/mol})$$

$$\Delta H(\text{O}_2) = 1 \Delta H(\text{O=O}) \quad (\text{kJ/mol})$$

3. Calculamos energía necesaria para formar una molécula de cada clase:

$$\Delta H_{\text{GLU}} (\text{kJ}) = \Delta H_f(\text{GLU}) (\text{kJ/mol}) / N_A = 5 \Delta H(\text{C-C}) + 7 \Delta H(\text{C-H}) + 5 \Delta H(\text{C-O}) + 1 \Delta H(\text{C=O}) + 5 \Delta H(\text{O-H}) / N_A$$

$$\Delta H_{\text{O}_2} (\text{kJ}) = \Delta H_f(\text{O}_2) (\text{kJ/mol}) / N_A = 1 \Delta H(\text{O=O}) / N_A$$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La hipótesis es correcta, La entalpía de formación de ambos depende del tipo de enlaces presentes-

Ejemplo numérico:

¿ Cuánta energía química tiene asociada una molécula de glucosa o de oxígeno molecular?

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{GLU}} (\text{kJ}) &= \Delta H_f(\text{GLU}) (\text{kJ/mol}) / N_A = 5 \Delta H(\text{C-C}) + 7 \Delta H(\text{C-H}) + 5 \Delta H(\text{C-O}) + 1 \Delta H(\text{C=O}) + 5 \Delta H(\text{O-H}) / N_A \\ &= (5 \cdot 348,15 \text{ kJ/mol} + 7 \cdot 415,32 \text{ kJ/mol} + 5 \cdot 352,45 \text{ kJ/mol} + 1 \cdot 730,22 \text{ kJ/mol} + 5 \cdot 460,05 \text{ kJ/mol}) / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = \\ &= 9440,71 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = \\ &= \mathbf{15,7 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/molécula}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{O}_2} (\text{kJ}) &= \Delta H_f(\text{O}_2) (\text{kJ/mol}) / N_A = 1 \Delta H(\text{O=O}) / N_A = \\ &= 1 \cdot 494,55 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = \\ &= \mathbf{0,8 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/molécula}} \end{aligned}$$

Comparando los resultados observamos que la molécula de mayor es la de la glucosa, que posee un total de enlaces de tipos y número que superan la energía del enlace O=O del oxígeno.

La unidad es el kJ, resultado lógico pues es un tipo de energía.

CORRECCIÓN DEL P 1-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de las moléculas o bien del enlace.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras de las moléculas y mencionan la energía de enlace.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad las estructuras posibles de la glucosa tanto lineal como en disolución y la del oxígeno. Analizan la reacción de formación como una situación de transferencia energética, hablando de la entalpía del proceso. Además proponen restricciones, como encontrarse las moléculas en estado gaseoso para poder utilizar las tablas de entalpías de disociación.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la entalpía.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de entalpía y concretan que su estudio es para una molécula o para 1 mol de estas.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo las entalpías de enlace.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

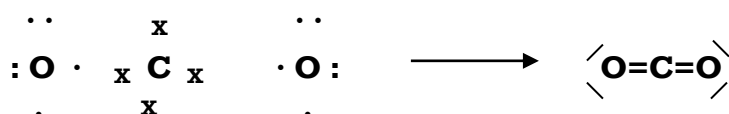
- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis (ej. si habla de moléculas o de moles).
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE SOLUCIÓN PARA EL P 2-FASE I

¿QUIÉNTIENE MAYOR ENERGÍA DE FORMACIÓN, EL DIÓXIDO DE CARBONO QUE ASIMILA LA PLANTA DURANTE LA FOTOSÍNTESIS O EL OXÍGENO QUE DESPRENDE?

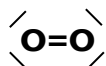
1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

El dióxido de carbono es un compuesto de fórmula CO_2 . Junto con el CO es uno de los dos óxidos de carbono que nos podemos encontrar en la naturaleza, el CO_2 y el CO. Su estructura de Lewis es:



Por tanto, la molécula de dióxido de carbono presenta dos enlaces dobles $\text{C}=\text{O}$.

En cuanto al oxígeno, es un elemento cuya forma mas común es la molécula diatómica O_2 , que a temperatura ambiente se encuentra en forma gaseosa (a 1 atm de presión). La molécula presenta en su estructura un doble enlace covalente:



La diferencia entre la energía de los átomos aislados y los átomos unidos formando la molécula correspondiente será esa energía del compuesto que buscamos. La energía contenida en las sustancias debido a esa situación de enlace, se pone de manifiesto en los procesos químicos en que intervienen. El calor es la forma de energía más frecuente asociada a las reacciones químicas. Para expresar el calor absorbido o liberado en un proceso a (a presión constante) se usa en Química la magnitud llamada entalpía y que se expresa con el símbolo H (Si $\Delta H > 0$ el sistema gana energía, se absorbe energía y si $\Delta H < 0$ el sistema pierde energía, se desprende energía. En el primer caso la reacción se denomina endotérmica (gana energía en forma de calor) y en el segundo exotérmica (pierde energía en forma de calor).

El balance energético entre los enlaces rotos y los formados será la energía asociada a esa reacción.

Para conocer la energía de formación de un compuesto recurrimos a las entalpías de enlace, calculadas a partir de la reacción de ruptura de estos y su entalpía asociada (tendremos que aportar tanta energía para romperlo como energía esté acumulada en dicha unión). Al formarse una molécula se produce una transferencia de energía de forma que los estados inicial y final tienen diferente energía interna, esa diferencia es la energía de enlace. .

Si consideramos la formación a partir de los átomos constituyentes y no de las moléculas para conocer la energía de formación de un compuesto recurrimos a las entalpías de enlace, calculadas a partir de la reacción de ruptura de estos y su entalpía asociada, (tendremos que aportar tanta energía para romperlo como energía se desprenda en dicha unión dicha unión). Al formarse una molécula se produce una transferencia de energía de forma que los estados inicial y final tienen diferente energía interna, esa diferencia es la energía de enlace.

La energía de cada compuesto depende del número y la naturaleza y tipo de los enlaces químicos que posee

Restricciones:

- Realizaremos el estudio sobre una única molécula para evitar las influencias de las fuerzas intermoleculares.
- Consideraremos la formación de la molécula a partir de los átomos constituyentes y no de los elementos en su estado natural.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Si tenemos en cuenta la formación a partir de los átomos constituyentes, la energía requerida depende de la cantidad de sustancia, del tipo de unión entre los átomos, n° de uniones y del estado físico de las sustancias.

Hipótesis: La energía requerida depende del número y tipo de enlaces presentes.

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS

Necesitamos saber las entalpías de enlace C=O y O=O (y conocer el N_A). Calculamos el n° de enlaces de cada clase que hay en cada molécula y con los valores de energía de enlace (necesitamos consultar tablas) calculamos la energía por mol. Si las entalpías vienen en kJ/mol dividimos por el n° de Avogadro para calcular la de una molécula, y comparamos (también podemos comparar por mol).

4.- RESOLUCIÓN

Seguimos los siguientes pasos:

1. Calculamos la cantidad de enlaces distintos presentes en cada molécula
Enlaces en el dióxido de carbono: 2 C=O
Enlaces en oxígeno: O=O
2. Vamos a las tablas de entalpías de enlace y calculamos la energía total de la molécula
 $\Delta H_f(\text{CO}_2) = 2 \cdot \Delta H(\text{C=O}) \quad (\text{kJ/mol})$
 $\Delta H_f(\text{O}_2) = 1 \Delta H(\text{O=O}) \quad (\text{kJ/mol})$
3. Calculamos energía necesaria para formar una molécula de cada clase:
 $\Delta H_f \text{CO}_2 = \Delta H_f(\text{CO}_2)(\text{kJ/mol}) / N_A = 2 \cdot H(\text{C=O}) / N_A \quad (\text{kJ})$
 $\Delta H_f \text{O}_2 = \Delta H_f(\text{O}_2)(\text{kJ/mol}) / N_A = 1 H(\text{O=O}) / N_A \quad (\text{kJ})$

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La hipótesis es correcta, La entalpía de formación depende del tipo de enlaces presentes. Además, la unidad es el kJ, resultado lógico pues es un tipo de energía.

Ejemplo numérico:

¿ Cuánta energía se necesita para formar una molécula de dióxido de carbono y una de oxígeno molecular?

$$\Delta H_f \text{CO}_2 = \Delta H_f(\text{CO}_2)(\text{kJ/mol}) / N_A = 2 \cdot H(\text{C=O}) / N_A = 2 \cdot 730,22 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 1460,44 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 2,43 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/molécula}$$

$$\Delta H_f O_2 \text{ (kJ)} = \Delta H_f(O_2) \text{ (kJ/mol)} / N_A = 1 \text{ H(O=O)} / N_A = 1 \cdot 494,55 \text{ kJ/mol} / 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 0,8 \cdot 10^{-21} \text{ kJ/molécula}$$

Comparando los resultados observamos que, considerando la unión a partir de los átomos de los elementos, la de mayor energía de formación es del dióxido de carbono, que posee un total de enlaces y tipos que superan la energía del enlace O=O del oxígeno.

CORRECCIÓN DEL P 2-FASE I

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de las moléculas o bien del enlace.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras de las moléculas y mencionan la energía de enlace.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad las estructuras posibles del CO_2 y la del O_2 . Analizan la reacción de formación como una situación de transferencia energética, hablando de la entalpía del proceso. Consideran balance entre enlaces rotos y formados, o en su caso, la formación a partir de los átomos aislados de los elementos. Además proponen restricciones, como encontrarse las moléculas en estado gaseoso para poder utilizar las tablas de entalpías de disociación.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de cantidad, sin concretar.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la entalpía.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de entalpía y concretan que su estudio es para una molécula o para 1 mol de estas.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo las entalpías de enlace.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

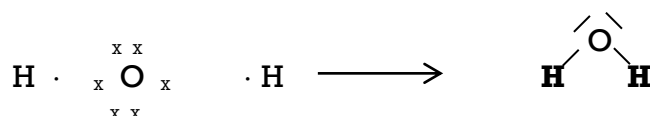
- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis (ej. si habla de moléculas o de moles).
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.

EJEMPLO DE SOLUCIÓN PARA EL P3-FASE I

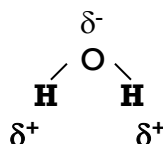
¿CÓMO REPRESENTARÍAS LA REACCIÓN DE FORMACIÓN DE AGUA?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

El agua es un compuesto inorgánico de H_2O . Si representamos las estructuras de Lewis:



Por tanto, la agua presenta dos enlaces simples H-O y dos pares de electrones no apareados sobre el oxígeno, que influyen directamente en la estructura angular del agua al repeler a los pares de electrones enlazantes cerrando el ángulo teórico de las estructuras tetraédricas de las moléculas con hibridación sp^3 . Al unirse un elemento muy electronegativo como es el oxígeno al hidrógeno, la densidad de carga del enlace H-O se desplaza y tenemos una densidad de carga positiva sobre los hidrógenos y de negativa sobre el oxígeno.



Así se forman puentes de hidrógeno entre oxígeno de una molécula y el hidrógeno de otra, lo que eleva el punto de ebullición anormalmente en su grupo, hasta 100°C .

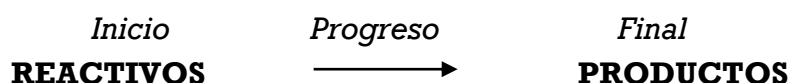
A temperatura ambiente se encuentra en forma líquida (a presión 1 atm) y presenta propiedades excepcionales sobre otras moléculas, como alto calor específico, o la el aumento de volumen al congelar lo que permite la vida en ríos y lagos.

El oxígeno y el hidrógeno son dos gases diatómicos, el hidrógeno con un enlace simple entre los átomos que constituyen la molécula y el oxígeno con un enlace doble:



Los átomos de los elementos se pueden representar por bolas de distintos colores, cada color asignado a un elemento. ●

Las reacciones químicas se representan mediante ecuaciones químicas, en las que podemos identificar los tres momentos:



Además, otra información que deben incluir las ecuaciones es el estado físico de las sustancias que intervienen, se expresa entre paréntesis y con abreviaturas:

Sólido (s), líquido (l), gas (g) y en disolución acuosa (aq.).

Para escribir la ecuación termoquímica de una reacción se añade la energía asociada a ésta. Para expresar el calor absorbido o liberado en un proceso (a presión constante) se usa en Química la magnitud llamada entalpía y que se expresa con el símbolo H (Si $\Delta H > 0$ el sistema gana energía, se absorbe energía y si $\Delta H < 0$ el sistema pierde energía, se desprende energía. En el primer caso la reacción se denomina endotérmica (gana energía en forma de calor) y en el segundo exotérmica (pierde energía en forma de calor).

En el caso de la formación de agua a partir de sus elementos en estado gaseoso es la entalpía de formación del agua.

Aspectos cuantitativos: En las reacciones químicas se debe cumplir la ley de Lavoisier de conservación de la masa pues los átomos no son alterados en una reacción química, sólo se reorganizan de otra forma, se rompen unos enlaces y se forman otros. El nº de átomos de cada clase es el mismo antes y después de la reacción, por lo tanto la masa será la misma. Por ello la ecuación química se ajusta con coeficientes para que se conserven los átomos en clase y número. Los coeficientes pueden representar entidades (átomos, moléculas o iones) o moles.

Además tendremos en cuenta que una de las causas de que una reacción química finalice es que se agote uno de sus reactivos, que se denomina reactivo limitante y que tendremos en cuenta en los cálculos numéricos. Así, al reactivo o reactivos que sobran y acompañan a los productos se les llama reactivos en exceso.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis: "En la representación de la formación del agua se debe cumplir la conservación de átomos de cada clase".

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Se representará la formación del agua a partir de sus elementos asignando una bola de cada color a cada átomo de cada elemento.

4.- RESOLUCIÓN

Seguimos los siguientes pasos:

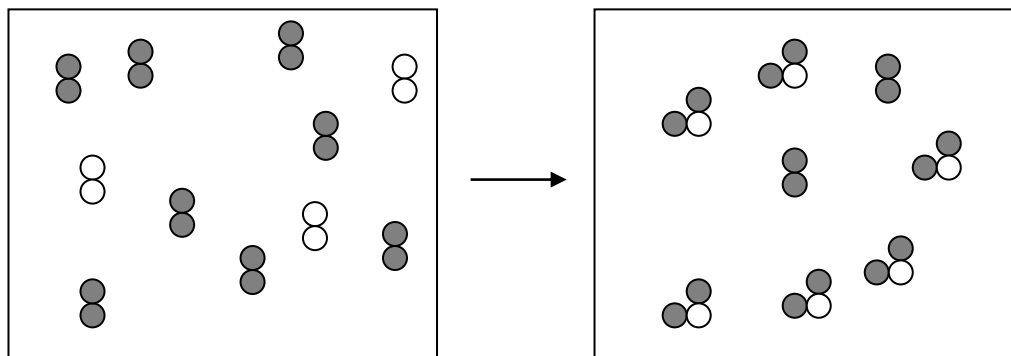
1. Asignamos a cada tipo de átomo una representación en forma de bola coloreada. ●
2. Dibujamos varias moléculas de sustancias iniciales y finales.
3. Dibujamos las moléculas de agua formadas
4. Comprobamos numéricamente cuántas moléculas de producto se pueden formar
5. Determinamos el reactivo en exceso que debe aparecer en el momento final
6. Utilizamos la ecuación química como ecuación matemática para el ajuste.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

La hipótesis es correcta, si en cada caso los átomos contados de cada clase son iguales al principio y al final.

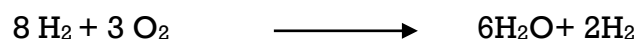
Ejemplo numérico: Representa la reacción de formación de agua a partir de tres moléculas de oxígeno y ocho de hidrógeno:

Si representamos un átomo de hidrógeno como ● y de oxígeno como ○ (sin tener en cuenta el tamaño relativo de los átomos) :

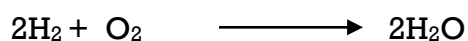
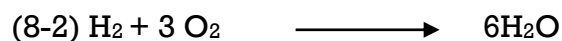


Vemos como se conserva el número y clase luego la hipótesis es correcta. Tenemos hidrógeno en exceso y el reactivo limitante es el oxígeno.

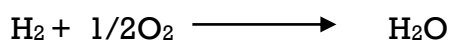
Comprobamos como una ecuación matemática, según esto la reacción que se ha representado es :



Simplificando:



Para la formación de una molécula:



CORRECCIÓN DEL P 3-FASE II

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos o bien de la estructura de las moléculas o bien de las ecuaciones químicas.
- Nivel 2: Los alumnos analizan las estructuras de las moléculas que intervienen y estudian las ecuaciones químicas.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad la estructura del agua. Analizan la reacción de formación como una situación de transferencia energética, hablando de la entalpía del proceso. Además consideran aspectos de conservación en las representaciones de ecuaciones químicas así como reactivo limitante y en exceso.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis de fórmulas.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con a combinación de los átomos o ecuaciones ajustadas.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de representaciones microscópicas simbólicas en las que se conserva la clase y nº de átomos.

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También plantean las variables que necesitan conocer de partida, como por ejemplo reactivo limitante y en exceso.

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando pasos claramente y indican que comparar al final.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales

EJEMPLO DE SOLUCIÓN PARA EL P 7 -FASE I

¿CÓMO FAVORECERÍAS LA COMBUSTIÓN DE LA MADERA?

1.- ANÁLISIS CUALITATIVO:

La velocidad de una reacción se refiere a la rapidez en la transformación de los reactivos en los productos. Generalmente se llama cinética química el estudio de los factores que pueden influir en la velocidad de una reacción química. Además de la naturaleza de los reactivos son: la temperatura, la concentración de los reactivos, la superficie de contacto entre los reactivos o la presencia de catalizadores.

Según la teoría de las colisiones y de la energía de activación, es muy importante la forma de contactar de los átomos y moléculas para poder realizar las nuevas combinaciones. En el caso de reacciones que combinan varios reactivos (como es el caso de la combustión en el que el combustible, en este caso la celulosa de la madera, reacciona con el oxígeno) las moléculas deben chocar de forma efectiva, es decir, con la orientación adecuada y la energía suficiente para que se rompan unos enlaces y se puedan formar otros. La energía mínima con la que deben chocar se denomina energía de activación.

Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad media de las moléculas y por tanto su energía cinética, por lo que los choques llevarán más energía y serán más efectivos en la rotura y aumentará la velocidad de la reacción.

Al aumentar la concentración de los reactivos, habrá más partículas en la misma porción de espacio (volumen) y por tanto aumenta la probabilidad del número de choques en general y por tanto también la de choques efectivos.

Al aumentar la superficie de contacto entre los reactivos, aumenta el número de átomos (partículas) que entran en contacto y las formas de aumentar la superficie de contacto son la disolución o la división mecánica.

La utilización de catalizadores específicos para una reacción puede variar su velocidad. Un catalizador aumenta la velocidad de reacción por formar un complejo intermedio con los reactivos que disminuye la energía de activación de dicha reacción favoreciéndola. Los catalizadores no se consumen durante la reacción y se recuperan tras ésta.

2.- EMISIÓN DE HIPÓTESIS

Las variables a controlar: la temperatura, la cantidad de materia, la densidad de la madera, el tipo de ésta

Hipótesis 1: "La combustión se favorecerá, es decir aumentará su velocidad de reacción, con el aumento de la división del material combustible".

Hipótesis 2: "La combustión se favorecerá, es decir aumentará su velocidad de reacción, utilizando oxígeno puro en vez de aire, es decir aumentando la concentración de uno de los reactivos, el oxígeno".

3.- ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS:

Estrategia 1 para H1: (experimental)

Se pesarán dos trozos de madera idénticos. Uno de ellos se fragmenta en pequeñas astillas y el otro no. Se queman en exceso de aire y se mide el tiempo que tarde en consumirse el combustible.

Material: madera, cerillas, cronómetro, báscula y tijeras de podar pequeñas.

4.- RESOLUCIÓN

Acciones a realizar:

1. Pesar dos trozos idénticos de madera.
2. Trocear uno de ellos
3. Colocar trozos sin apelmazar, dejando circular el aire.
4. Encender y medir tiempos de combustión

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras la experimentación se comparan resultados y contrasta la hipótesis.

CORRECCIÓN DEL P 7-FASE II

VM1: análisis cualitativo del problema

- Nivel 0: Los alumnos realizan un análisis prácticamente nulo, o sin sentido en la situación que se estudia.
- Nivel 1: Los alumnos realizan un análisis poco profundo de la situación, estudiando tan sólo algunos de los aspectos como aumento de temperatura.
- Nivel 2: Los alumnos analizan distintos aspectos cinéticos o varios factores condicionantes de la velocidad de reacción.
- Nivel 3: Los alumnos analizan en profundidad los aspectos cinéticos de las reacciones. No solo enumeran los factores de los que depende sino que explican esa dependencia en función de choques efectivos de las moléculas.

VM2: emisión de hipótesis

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.
- Nivel 1: Los alumnos plantean hipótesis en términos de más velocidad, sin concretar.
- Nivel 2: Los alumnos plantean hipótesis concretas relacionadas con la factores cinéticos pero de forma escueta.
- Nivel 3: Los alumnos plantean una hipótesis clara de trabajo y la expresan en términos de factores cinéticos de forma amplia y analizan variables a controlar..

VM3: elaboración de estrategias:

- Nivel 0: Los alumnos no plantean ninguna estrategia o no es coherente.
- Nivel 1: Los alumnos proponen estrategias que no concuerdan con su hipótesis..
- Nivel 2: Los alumnos elaboran una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.
- Nivel 3: Los alumnos explican claramente y de forma extensa su estrategia de trabajo. También indican materiales necesarios..

VM4: resolución del problema

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ninguna resolución.
- Nivel 1: Los alumnos indican los pasos a seguir en su resolución, pero no lo acompañan de ningún desarrollo.
- Nivel 2: Los alumnos proponen una resolución, pero alguno de los pasos faltan o cierran ya el problema sustituyendo algunos valores
- Nivel 3: Los alumnos realizan una resolución completa, indicando todos los pasos.

VM5: análisis de los resultados:

- Nivel 0: Los alumnos no realizan ningún análisis.
- Nivel 1: Los alumnos proponen en el análisis un problema mal resuelto.
- Nivel 2: Los alumnos realizan un análisis correcto pero no se ajusta completamente a su hipótesis.
- Nivel 3: Los alumnos realizan el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También realizan conclusiones personales.



Universidad Complutense de Madrid
Facultad de Educación
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales

**A STUDY OF THE INFLUENCE OF
*PROBLEM-SOLVING METHODOLOGY AS
AN INVESTIGATION (PSMI)* ON LEARNING
CHEMISTRY IN HIGH SCHOOL STUDENTS**

PhD Thesis

Presented by

ANA ISABEL BÁRCENA MARTÍN

Directed by:

MARÍA MERCEDES MARTÍNEZ AZNAR

Professor at the Department of Didactics of Experimental Sciences at
Universidad Complutense de Madrid

MADRID 2015

1. THEORETICAL FRAMEWORK

In recent years, it has been reported a lack of interest of european students towards science and poor spanish results in problem solving and science competence. There is a great deal of research suggesting methodological changes, in particular the so-called inductive or inquiry methods. These methods have been found to be effective not only in producing significant learning in students, but also in generating positive attitudes towards science (Abd-El-Khalick et al., 2004; Rocard, 2007). Among these methods, some authors have argued that problem-based education (PBE) may be particularly capable of producing effective and permanent learning among students (Pease & Kuhn, 2011). There are multiple ways to implement PBE in the classroom. This project adopts one of them, that reported in Gil and Martinez Torregrosa's (1983) Problem Solving Methodology as an Investigation (PSMI), which emphasizes the resolution of problems through both paper-and-pencil and experimental methods. It consists of five phases or methodological procedures that correspond to the five dimensions of scientific practice (VM1: Qualitative analysis of the problem; VM2: Emission of hypotheses, VM3: Design of a resolution strategy, VM4: Resolution, VM5: Analysis of results).

This methodology incorporates the cyclical nature of the problem-solving process, where the review of previous approaches and the construction of new knowledge form the basis for the formulation of new problems and challenges. The learner's verbalization processes stimulate both self-critique and error diagnosis, thereby encouraging metacognition (Ibáñez & Martinez- Aznar, 2005). As a teaching method, PSMI conceives of learning as the construction of knowledge, carefully taking students' prior conceptions into account. Classroom work is undertaken in small cooperative groups that promote meaningful learning, using contextualized materials that enhance motivation and self-confidence, promote critical thinking skills, and improve attitudes towards science. Several studies and dissertations have validated this model (Gil & Martínez-Torregrosa 1983; Ibáñez & Martinez-Aznar, 2005; Varela, 1994).

2. RESEARCH DESIGN AND SAMPLES

This project intends to apply this methodology to a post-compulsory secondary education level, the first course of the Spanish *bachillerato* (equivalent to eleventh grade), in the discipline of chemistry. The proposed

research is in part quantitative and in part qualitative, using a quasi-experimental design that studies pre-existing, rather than randomly selected groups. Accordingly, the control of variables is partial. The research methodology is situated within the action-research paradigm, where the teacher plays the dual role of teacher-researcher. To enable broader conclusions to be drawn, the classroom work is performed in two experimental stages (Phase I and Phase II) in two different years and with different samples, consisting of 23-38 students with a mean age of 16.6 years and of medium socioeconomic status. Learning is studied by comparing an experimental group (GEXP), working with the PSMI, with a control group (GCON), following a traditional deductive methodology. The independent variable is the use of PSMI.

3. OBJECTIVES AND HYPOTHESES

The purpose of this research is to demonstrate that students who use Problem-Solving Methodology as an Investigation (PSMI) in chemistry and environmental studies achieve statistically-significant greater gains in knowledge, skills and attitudes than students who follow a more traditional classroom methodology. To achieve this goal, five research hypotheses are proposed (broken down into sub-hypotheses to facilitate contrast):

- Hypothesis 1 (H1): GEXP students will demonstrate statistically significant gains in learning through PSMI, enabling them to reach more complex solutions in each of the methodological and verbalization variables when solving open problems.
- Hypothesis 2 (H2): GEXP students will do statistically significantly better in solving closed problems when compared with GCON students.
- Hypothesis 3 (H3): At the end of the teaching-learning process, a statistically significant change in GEXP will occur in knowledge of both chemical reaction and environmental concepts, favoring GEXP relative to GCON.
- Hypothesis 4 (H4): GEXP students will demonstrate statistically more positive attitudes toward conservation and concern for the environment when compared with GCON.
- Hypothesis 5 (H5): GEXP students will positively assess their learning using the PSMI methodology and will recognize the utility of applying it to other subjects.

4. DATA COLLECTION INSTRUMENTS AND ANALYSIS TECHNIQUES

To study possible conceptual, procedural and attitudinal changes due to the introduction of the PSMI methodology, pre-test and post-test tests are designed and analyzed. These include a multiple-choice test that could be

evaluated quantitatively as well as one test with open-ended questions that permits a qualitative study of student responses, along with the problematic situations undertaken in the classroom.

To analyze the data, different qualitative and quantitative techniques have been used depending on the nature of the data, the groups being compared and the information required for the study. For the open-ended questionnaires, systemic networks are used. Table 1 presents the relationships between the hypotheses, the research instruments, statistical methods, and data collection periods.

TEST/TASK	CHECK	HYPÓTHESIS	GROUPS	STATISTIC	TIME FOR DATA COLLECTION
OPEN PROBLEMS	Homogeneity	H01	GEXP GCON	Mann-Whitney U	Before D.U
	Procedural change	H1	GEXP	ANOVA (F-test and multiple-range test of means)	During D.U.
CLOSED PROBLEMS	Procedural change	H2	GEXP GCON	Mann-Whitney U	After D.U.
CHEMISTRY CONCEPT TEST (TQ*)	Homogeneity	H02	GEXP GCON	Mann-Whitney U	Before D.U
	Conceptual Change	H31	GEXP	Wilcoxon	Before and after D.U.
	Conceptual Change	H32	GEXP GCON	Mann-Whitney U	After D.U.
	Persistence over time	H35	GEXP	Wilcoxon	After the summer holidays.
ENVIROMENTAL CONCEPT TEST (TCM)	Homogeneity	H03	GEXP GCON	U-Mann	Before D.U
	Conceptual Change	H33	GEXP	Wilcoxon	Before and after D.U.
	Conceptual Change	H34	GEXP GCON	Mann-Whitney U	After D.U.
ENVIROMENTAL ATTITUDE TESTS (TACT1/2/3)	Homogeneity	H04	GEXP GCON	Mann-Whitney U	Before D.U
	Attitudinal change	H41	GEXP	Wilcoxon	Before and after D.U.
	Attitudinal change	H42	GEXP GCON	Mann-Whitney U	After D.U.
METACOGNITION TEST (TPSMI)	Attitude toward PSMI	H5	GEXP	%	After D.U.

TABLE 2. RELATIONSHIP BETWEEN TESTS, HYPOTHESES, STATISTICAL METHODS AND DATA COLLECTION PERIODS. (* INCLUDES PRE-TEST AND POST-TEST VERSIONS).

5. CLASSROOM METHODOLOGY AND THE DIDACTIC UNIT

In the absence of suitable materials, it is necessary to elaborate a specific Didactic Unit "Chemical Reactions and Biomass", based on the resolution of contextualized open-ended problems, that allows to work on

this content, while also promoting learning skills and attitudes. To present the environmental and chemical content in a unified manner, energy from Biomass is chosen as the central conceptual core. Students solve the problematic situations following a template that orientates them to PSMI's five phases of resolution, similarly to those used in other investigations (Martínez-Aznar & Barcena, 2013). After individual reflection and work, students work, in the classroom, in cooperative groups (of 5-6 students). Within the group, they come to a consensual solution that will be shared with the rest of the class. In this manner, the different contributions of each group improve both individual and collective learning. Throughout the process of teaching and learning, the teacher-researcher is responsible for monitoring each individual student, the small groups, and the class in general. Her role is primarily to organize the discussion of ideas and to act as a guide in learning both PSMI and the concepts covered, resolving doubts when they arise. Ongoing coordination with the teacher responsible for the control group enables comparison between GEXP and GCON and ensures similar timing.

6. RESULTS AND CONCLUSIONS

All the hypotheses previously formulated for this research have been statistically compared showing better learning of students in the experimental groups relative to those of the control group. Only one sub-hypotheses about attitudes (H4.2) for Phase II, has not shown statistically significant differences due to the test design, but it has been observed an improvement in attitudes in terms of answers' frequency. The effectiveness of the PSMI is shown in the following ways:

- *Students significantly advance towards more complex levels of resolution of the methodological and verbalization variables. The more relevant learning is achieved in hypothesis, VM2, and problem resolution, VM4, where students show more difficulties at the beginning of the process.*
- *Learning with PSMI enables students to solve closed problems, to which they have not been specifically trained. Students in the experimental groups achieve better performance in solving closed chemistry problems (writing and setting a chemical equation, stoichiometric calculations, identifying limiting reagent and energy calculations) that students in the control groups, which have developed a methodology exclusively based on solving these problems.*

- *PSMI promotes a conceptual restructuring in both chemical and environmental concepts. The conceptual restructuring in chemical reactions is maintained over time and does not experience a statistically significant backward shift.*
- *The learning process of the chemistry and environmental concepts is significantly more effective when working with PSMI (experimental group) than when done with traditional methods (control group).*
- *Students who have implemented the teaching unit "Chemical Reactions and Biomass" demonstrate more positive attitudes towards conservation and concern for the environment.*
- *From the statistical point of view, there is a significant better attitudinal learning towards environmental aspects than that achieved with a more traditional methodology.*
- *The final productions of the students in the experimental groups are more elaborate and show higher levels of verbalization than in the control group, where short and simple phrases predominate.*
- *The progress obtained with this methodology is intimately related to several metacognitive strategies and abilities that students should develop.*

7. REFERENCES

- Abd-el-khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88, 397-419
- Gil, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- Ibáñez, M. T & Martínez-Aznar, M. M. (2005). Solving problems in genetics (II): Conceptual change. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495-1519.
- Martínez-Aznar, M. M. & Bárcena Martín, A. I. (2013). Una actividad de indagación en un aula de diversificación: ¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión?. *Educació Química*, 14, 19-28.
- Pease, M. A. & Kuhn, D. (2011). Experimental analysis of the effective components of Problem-Based Learning. *Science Education*, 95, 57-86.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walwerg-Heriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Informe Rocard. Science Education Now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission.
- Varela, M. P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. PhD Thesis Madrid: Universidad Complutense.